

Anssi Raja

OSAVALMISTUKSEN TUOTANNON- OHJAUKSEN KEHITTÄMINEN

Teknisten tieteiden tiedekunta

Diplomityö

Kesäkuu 2019

TIIVISTELMÄ

Anssi Raja: Osavalmistuksen tuotannonohjauksen kehittäminen
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan Diplomi-insinööri tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2019

Nykyajan valmistavaa teollisuutta leimaa yhä enemmän tuotannon digitalisointi ja asiakaslähtöisyys. Asiakaslähtöinen tuotanto vaatii tuotannolta joustavuutta, joka saavutetaan paremmalla tuotannon suunnittelulla ja -ohjattavuudella. Lisäksi valmistavassa teollisuudessa on haettu tuotannon tehokkuuteen kasvua johtamalla toimintaa reaaliaikaisen tuotanto datan avulla ja hyödyntämällä tuotannonohjaus ja -suunnittelu järjestelmillä.

Diplomityö tehtiin kohdeyritykselle, joka valmistaa raskaita hitsaus- ja tuotantoautomaatio järjestelmiä. Työ rajattiin koskemaan kohdeyrityksen osavalmistuksen tuotannonohjauksen kehittämistä. Ensimmäisenä työssä suoritettiin nykytilan kartoittaminen, joka tehtiin tutustumalla yrityksen tuotannonohjaus ja -suunnittelu prosesseihin. Tutustuminen toteutettiin puoli strukturoitujen haastatteluiden avulla tuotannossa, tuotannon suunnittelussa ja työnjohdossa. Lisäksi tutustuttiin kohdeyrityksen ERP-toiminnanohjausjärjestelmään ja sen tarjoamiin ominaisuuksiin. Tämän perusteellisen nykytilan kartoituksen perusteella työlle pystyttiin määrittelemään varsinaiset tutkimuskysymykset ja menetelmät, miten päästään haluttuun kohdeyrityksen tavoittilaan. Tutkimuskysymyksiä ja -ongelmia lähdettiin ratkaisemaan kirjallisuuskatsauksen avulla, joka tarjosi vahvan pohjan hyödyntää muitakin tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä. Näitä menetelmiä oli järjestelmiin tutustuminen referenssikäyntien, demojen ja messu käyntien avulla, vertailuanalyysi toisessa valmistavassa yrityksessä ja omasta tuotannosta lisätiedon kerääminen. Lisätietoa kerättiin kyselylomakkeiden, nykyisten järjestelmien historia tietojen ja uusien avointen haastatteluiden muodossa.

Tuloksena saatiin kehitettyä kohdeyritykselle uusi tuotannonohjausmalli ja kartoitettua kohdeyrityksen järjestelmä tarpeita tuotannossa. Työssä käsiteltiin myös työntekijöiden asenteita uusia toimintamalleja ja järjestelmiä kohtaan. Uusi tuotannonohjausmalli on kehitetty asiakaslähtöiseen tuotantoon, jossa esiintyy paljon variaatiota ja lyhyitä tuotanto eräkoja. Tuotannonohjausmalli on toteutettu TOC-periaatteen eli kapeikko-ohjauksen mukaan. Tätä menetelmää on hyödynnetty kirjallisuuskatsauksen perusteella asiakaslähtöisessä tuotannossa tehokkaasti ja se toiminnallaan rajoittaa keskeneräistä tuotantoa ja lisää näin ollen ohjattavuutta tuotannossa. Kapeikko-ohjauksessa rajoitetaan pullonkaulan tuotantoa, joka näin ollen tuli selvittää työssä, jotta kapeikko-ohjausta pystytään hyödyntämään. Työssä pullonkaulaksi määriteltiin hitsaus ja sille esiteltiin myöskin työn puitteissa tuotantoa tehostavia toimia. Järjestelmien hankintatarpeen osalta esitettiin hankintatarpeet koneseurantajärjestelmistä ja MES-tuotannonohjausjärjestelmästä. Koneseurantajärjestelmä tukee tuotannon parempaa mitattavuutta, kun taas MES-järjestelmällä haetaan tuotannon parempaa ohjattavuutta ja läpinäkyvyyttä. MES-järjestelmälle tehtiin myös kattavampi esikartoitus, jossa pohjana toimi vertailuanalyysi, jolla voidaan helposti kartoittaa eri järjestelmätoimittajien järjestelmiä yrityksen omien tarpeiden mukaan. Näin ollen tulokseksi saatiin kohdeyritykselle parhaiten soveltuvat MES-järjestelmät esikartoituksen perusteella.

Avainsanat: Tuotannonohjaus, tuotannon kehittäminen, tuotannonsuunnittelu, kapeikko-ohjaus, MES, IoT, TOC

ABSTRACT

Anssi Raja: Developing production management in part manufacturing
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
June 2019

Today's manufacturing industry is increasingly characterized by digitalisation of production and customer orientation. Customer-oriented production requires flexibility from production. Flexibility is achieved through improved production planning and management. In addition, the manufacturing industry has increased production efficiency by managing operations through real-time production data and utilizing production control and design systems.

The thesis was made for a target company that manufactures heavy welding and production automation systems. The thesis was limited to developing the production management in company's part manufacturing. The first step in thesis was to survey the current state of the company by reviewing the company's production control and planning processes. The survey was done by interviews in production, production planning and production management. In addition, the ERP system and its features were orientated as well. Based on this in-depth mapping of the current situation, it was possible to define the actual research questions and methods how to reach the desired targets of the thesis work. Research questions and problems were solved with the help of a literature review, which provided a strong basis for utilizing other methods used in the research. These methods included familiarizing with production systems through reference visits, demos and trade fairs, benchmarking in another manufacturing company, and collecting additional information about company's own production. More information was collected in the form of questionnaires, history of existing systems and by half structural open interviews.

As a result, a new production management model was created for the target company and mapping and definition of production system requirements was done. The thesis also dealt with the attitudes of employees towards new operating models and systems. The new production control model has been developed for customer-oriented production where there is natural variation and short production batch sizes. The production control model has been implemented according to the TOC principle, also known as theory of constraints. Based on the literature review, this method has been utilized efficiently in customer-oriented production. TOC process restricts unfinished production and thus increases controllability in production. Constraints were found because TOC is based on limitation of the constraints at production. In the work, the bottleneck was defined as welding. In the thesis the demand for systems was also introduced. The production had demands for machine monitoring systems and MES manufacturing execution system. The machine monitoring system supports better measurability of production, while the MES system increases controllability and transparency of production. The MES system also underwent a more comprehensive pre-mapping based on benchmarking, which can easily map the systems of different system vendors to the company's own needs. As a result, the MES systems best suited for the target company were introduced on the basis of pre-mapping.

Keywords: Production management, production development, production planning, theory of constraints, MES, IoT, TOC

ALKUSANAT

Työ tehtiin tilauksena kohdeyritykselle, jossa oli aito tarve osavalmistuksen tuotannon-ohjauksen kehittämiseksi. Työn suunta ja tavoitteet määriteltiin työn alkuvaiheessa tammikuussa 2019 ja työ toteutettiin 2019 tammi-toukokuussa, alussa määritellyn aikataulun mukaisesti. Työ oli allekirjoittaneelle mielenkiintoinen aihe, sillä työ koski operatiivista toimintaa ja sen kehittämistä, jonka parissa on tullut ennenkin toimittua. Näin ollen edellytyksetkin työn onnistumiseen olivat erinomaiset.

Ensimmäisenä haluan kiittää työni ohjaajaa kohdeyrityksessä ja koko kohdeyrityksen osavalmistusta, tuotannonsuunnittelua ja operatiivista johtoa, jotka kaikki tarjosivat osaltaan oman panoksensa työhön. Kohdeyrityksessä työni ohjaaja osoitti aitoa mielenkiintoa työtä kohtaan, joka motivoi tekemään työn mahdollisimman hyvin vastaamaan kohdeyrityksen tarpeita. Kiitokset ansaitsevat myös työni tarkastajat Minna Lanz ja Hasse Nylund, jotka mahdollistivat työn johdonmukaisen rakenteen ja akateemisen sisällön. Iso kiitos myös LWD opiskeluporukalle, johon on voinut tukeutua opiskeluvuosien aikana. Viimeiseksi haluan kiittää perhettäni, muita ystäviäni ja Emppua huikeasta tuesta opiskeluni ja lopputyöni aikana.

Loimaalla 11.06.2019

Anssi Raja

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimusongelma.....	1
1.2 Työn tavoite ja rajaus.....	2
1.3 Osavalmistuksen esittely	3
1.4 Käytettävät tutkimusmenetelmät ja työn rakenne	3
2. TUOTANNON DIGITALISAATIO JA TUOTANNONOHJAUS	7
2.1 Asiakaslähtöinen tuotanto.....	7
2.1.1 Asiakaslähtöisen tuotannon ominaispiirteet.....	7
2.1.2 Tuotannon tunnusluvut ja mittarit	9
2.1.3 Tuotannon digitalisaatio	11
2.1.4 Lean asiakaslähtöisessä tuotannossa	12
2.2 Tuotannonohjaus	14
2.2.1 Tuotannon karkeakuormittaminen	14
2.2.2 Tuotannon hienokuormittaminen.....	16
2.2.3 Tuotannonohjauksen periaatteet ja lattiataason ohjaus	17
2.2.4 Kapeikko ohjaus TOC	19
2.2.5 Tuotannonohjauksen järjestelmät	22
2.2.6 Tuotannonohjausjärjestelmän käyttöönottoprosessi.....	24
2.3 Muutoksen johtaminen ja yhteisöllisyys.....	26
2.3.1 Yhteisöllisyys ja osallistaminen	26
2.3.2 Osallistava tutkimus	27
3. OSAVALMISTUKSEN NYKYTILANTEEN KARTOITTAMINEN JA KEHITYSTARPEET ..	29
3.1 Osavalmistuksen nykyinen tilanne.....	29
3.1.1 Osavalmistuksen laitteisto ja valmistettavat tuotteet.....	30
3.1.2 Osavalmistuksen tuotannonohjaus	32
3.1.3 Osavalmistuksen kapasiteetin hallinta	35
3.1.4 Osavalmistuksen mitattavuus	36
3.1.5 Osavalmistuksen jatkuva parantaminen	41
3.2 Vertaileva tutkimus.....	42
3.2.1 Benchmarking tuotannon digitaalisuudesta	43
4. OSAVALMISTUKSEN TUOTANNON KEHITTÄMINEN	45
4.1 Tuotannonohjauksen kehittäminen	45
4.2 Mitattavuuden kehittäminen	50
4.3 Tuotannon tehostaminen	52
4.4 Tuotannonjärjestelmät	54
5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET	59
5.1 Johtopäätökset.....	59
5.2 Jatkotoimenpiteet.....	62
6. YHTEENVETO	65
LÄHTEET	67

LIITTEET

LYHENTEET JA MERKINNÄT

APS	Tuotannonsuunnitelujärjestelmä (Advanced Planning and Scheduling)
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise Resource Planning)
IoT	Teollinen internet, esineiden internet (Internet of Things)
KET	Keskeneräinen tuotanto
KPI	Suorituskykymittari (Key Performance Indicator)
MES	Tuotannonohjausjärjestelmä (Manufacturing Execution System)
MRP	Tarvelaskenta (Material Resource Planning)
TOC	Kapeikkoajattelu (Theory of Constraints)
WLC	Työn etenemisen kontrollointi (Work Flow Control)
WMS	Varastonhallintajärjestelmä (Warehouse management system)

1. JOHDANTO

Toiminnan kasvaminen tuo esiin erilaisia haasteita. Tämän johdosta suunnittelun ja ohjauksen tarve kasvavat yrityksen joka toimialueella. Kohdeyrityksen liikevaihto on lähes kaksinkertaistunut viimeisen kolmen vuoden aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotannossa valmistettavan tavaran määrä on kasvanut valtavasti. Kohdeyrityksen tuotteisto on hyvin asiakasräätälöityä ja projektiluontoista. Tämä luo omat haasteensa tuotannonohjaukselle ja kapasiteetin ennakoivalle suunnittelulle. Tämä työ pureutuu tähän haasteeseen ja käsittelee osavalmistuksen tuotannonohjausta, tehostamista ja mitattavuutta. Tässä luvussa käsitellään työn tutkimusongelmaa ja esitellään työn tavoite sekä rajaus. Myös kohdeyrityksen osavalmistusta sekä käytettyjä tutkimusmenetelmiä ja työn rakennetta käsitellään tässä luvussa.

1.1 Tutkimusongelma

Tutkimusongelmana on kohdeyrityksen tilauskannan kasvusta johtuva oman osavalmistuksen ylikuormittuminen. Kohdeyrityksellä on kattava alihankintaverkosto, jonka avulla ylikuormittumista hallitaan. Ajoittain kapasiteettia siirretään alihankintaan kuitenkin vasta sitten, kun todetaan ettei omassa osavalmistuksessa saada valmistettua osia tavoittelussa valmistusajassa. Tähän ongelmaan kaivataankin ratkaisua. Tavoitteena olisi jo suunnitteluvaiheessa olla tietoisia siitä, mikä on osavalmistuksen kapasiteetti tuleville viikoille ja kuinka paljon omaa osavalmistusta voidaan kuormittaa. Tämän ongelman ratkaiseminen edellyttää tuotannonohjauksen kehittämistä, sillä nykyisellä tuotannonohjauksella tähän ongelmaan ei pystytä vastaamaan.

Tällä hetkellä tuotannonohjaus perustuu käytännössä kokemuksiin ja parhaisiin arvioihin tuotannonsuunnittelun sekä osavalmistuksen työnjohdon välillä. Kapasiteetin hallinnasta vastaa osavalmistuksen työnjohtaja yhdessä alihankinta vastaavan kanssa. Kapasiteettia lisätään tarvittaessa ylitöillä tai siirtämällä tuotantoa alihankintaan. Tuotannossa on käytössä työmääräinten leimaaminen tuotannon seurattavuuden tukemiseksi, mutta leimaamiskäytännöt ovat epäselvät ja kapasiteettia ei hallita toiminnanohjausjärjestelmän kautta, vaan tuotannon karkeakuormittaminen tehdään Excelin avulla. Oman ongelman

tuotannon seurattavuuteen tuo asennuspuolen palveleminen osavalmistuksessa. Tuotantoon tulee erilaisia testikappaleita ja tarvittavia osia asennuksia varten ilman työmääräintä, mikä vie suunniteltua kapasiteettia ilman, että siitä tulee tietoa mihinkään järjestelmään. Tällaiset työt eivät ole ennustettavissa, mutta ne on otettava huomioon määriteltäessä osavalmistuksen kapasiteettia.

Oman haasteensa kapasiteetin hallintaan tuo myös liiketoiminnan projektimaisuus. Myytävät tuotteet ovat pitkälle asiakasräätälöityjä kokonaisuuksia ja näin ollen tuotannon ennustettavuus ei ole yhtä helppoa, kuin vakiotuotteita valmistettaessa. Tuotannonsuunnitteluun valmiit tuoterakenteet voivat tulla niin, että valmistusaikaa tuotteelle on osavalmistuksessa vain kolme viikkoa. Tämä tarkoittaa sitä, että pitää tehdä nopeasti päätös käytetäänkö alihankintaa vai laitetaanko tuotantotilaukset omaan osavalmistukseen. Yrityksessä pyritään käyttämään standardoituja moduuliratkaisuja, mutta aina tämä ei ole mahdollista. Läpimenoaikojen määrittäminen uusille tuotteille on hyvin hankalaa, koska minkäänlaista historiatietoa uusista valmistettavista tuotteista ei ole saatavilla. Kapasiteetin hallitseminen vaikeutuu huomattavasti, kun tuotannosta ei ole saatavilla todenmukaista mittaustietoa.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Tämän työn tavoitteet asetettiin nykytilan kartoituksen perusteella. Tavoitteena oli selvittää nykyinen kapasiteetti, mutta nopeasti huomattiin, että todellisen kapasiteetin määrittäminen olisi lähes mahdotonta historiatiedon ollessa epäluotettavaa. Tässä yhteydessä päätettiin myös, ettei aikojen manuaalista mittausta haluttu toteuttaa työteliään ja mahdollisesti vastarintaa herättävän menetelmän takia. Näin ollen todettiin, ettei tätä tavoitetta voida selvittää työn puitteissa, vaan keskityttiin tuotannonohjausprosessiin ja luotettavan mittausdatan tuottamiseen sekä kehittämiseen.

Työn tavoitteena ovat näin ollen kohdeyrityksen osavalmistuksen tuotannonohjauksen kehittäminen ja osavalmistuksen mittareiden määrittäminen sekä mitattavuuden selvittäminen. Tämän lisäksi tutkitaan tuotannon tehostamisen mahdollisuuksia Lean periaatteiden ja tuotannonohjaustapojen näkökulmasta. Tähän liittyen selvitetään erilaisia järjestelmiä, jotka tukevat tuotannonohjausta, tuotannon mitattavuutta, poikkeamien raportointia ja tuotannon läpinäkyvyyttä. Työ rajoitetaan käsittelemään kohdeyrityksen osavalmistusta ja työ rajataan tulosten esittelyyn, mahdollisten hankinta tarpeiden määrittämiseen ja jatkokehitys ehdotuksiin. Mahdolliset järjestelmien implementoinnit on rajattu työn ulkopuolelle.

1.3 Osavalmistuksen esittely

Kohdeyritys on johtavia raskaan hitsausautomaatio- ja tuotantoautomaatio järjestelmiä valmistava yritys. Yritys on perustettu vuonna 1970 ja yritys on viime vuosina kasvanut merkittävästi. Nykyään yritys työllistää yli 200 alan ammattilaista. Vuosittaisesta tuotannosta keskimäärin yli 90 prosenttia menee vientiin. Merkittävimpiä asiakassegmenttejä ovat telakkateollisuus, tuulivoimateollisuus, prosessiteollisuus, raskaat konepajat sekä huolto- ja kunnossapito palvelut. Liiketoiminta on hyvin projektikeskeistä ja asiakkaille räätälöidään tuotantojärjestelmiä heidän tarpeidensa mukaan. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Loimaalla, missä sijaitsee myös kohdeyrityksen osavalmistus.

Osavalmistuksessa työskentelee 27 henkilöä ja osavalmistus tuottaa osia kokoonpantaaviin hitsausautomaatio- ja tuotantoautomaatio järjestelmiin. Osavalmistus voidaan luokitella keskiraskaaksi konepajaksi, joka kattaa yleisimmät konepajan valmistusosastot. Osavalmistuksen konekantana toimii polttopöytä, saha, levyleikkuri, särmäyspuristin, porakone, hitsauspisteet (6 kappaletta), hitsausrobotti, pitkäjyrä, koneistuskeskukset (2 kappaletta), karkisorvi, automaattisorvi, aarporat (2 kappaletta) ja pintakäsittely yksikkö, joka kattaa puhaltamon, haihduttamon, uunin ja maalauslinjaston. Ohjattavia kuormituspisteitä osavalmistuksessa on näin ollen 21 kappaletta. Tämän lisäksi osien keräilystä hitsaukseen vastaa hitsauksen keräilijä.

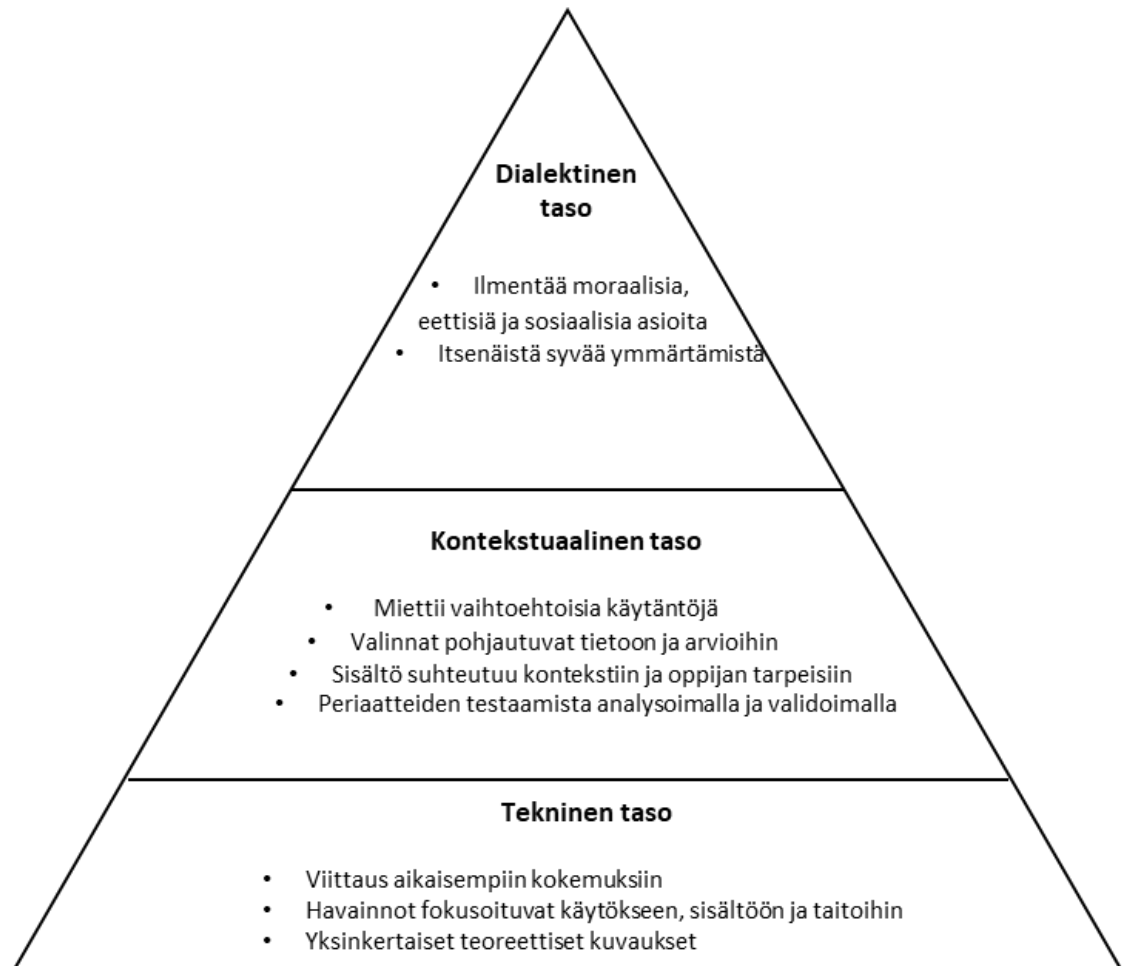
Tuotannossa työjonojen hallinnasta vastaa osavalmistuksen työnjohtaja, joka vastaa kaikkien työjonojen hienokuormittamisesta ja töiden etenemisestä. Minkäänlaista tuotannonohjaus- tai tuotannonsuunnittelujärjestelmää ei tuotannossa hyödynnetä, vaan kapasiteetin hallinta tapahtuu kokemusten perusteella ja seuraamalla tilannetta lattiatasolla. Kapasiteettia tarvittaessa lisätään siirtämällä töitä alihankintaan valmistettavaksi.

1.4 Käytettävät tutkimusmenetelmät ja työn rakenne

Tämä diplomityö on luonteeltaan kvalitatiivinen eli laadullinen tapaustutkimus. Laadullisessa tapaustutkimuksessa korostuu tutkittavaan kohteeseen liittyvät näkökulmat ja tutkimuksenä on tuottaa yksityiskohtaista ja tarkkaa tietoa tarkasteltavasta kohteesta. Laadullista tapaustutkimusta toteutettiin reflektiivisen ajattelun kautta. Reflektiivistä ajattelua tapahtuu, kun ihminen pyrkii parantamaan toimintaansa. Reflektiivinen ajattelu perustuu kokemuksiin, jotka voidaan tutkimuksessa hankkia, joko oman kokemuksen perusteella tai haastatteluiden avulla. Saatuja kokemuksia aktiivisesti tarkastellaan ja käsitellään,

jotta voidaan rakentaa uutta tietoa ja näkökulmia tutkittavaan aiheeseen. (Tuomi ja Sarajärvi, 2018.)

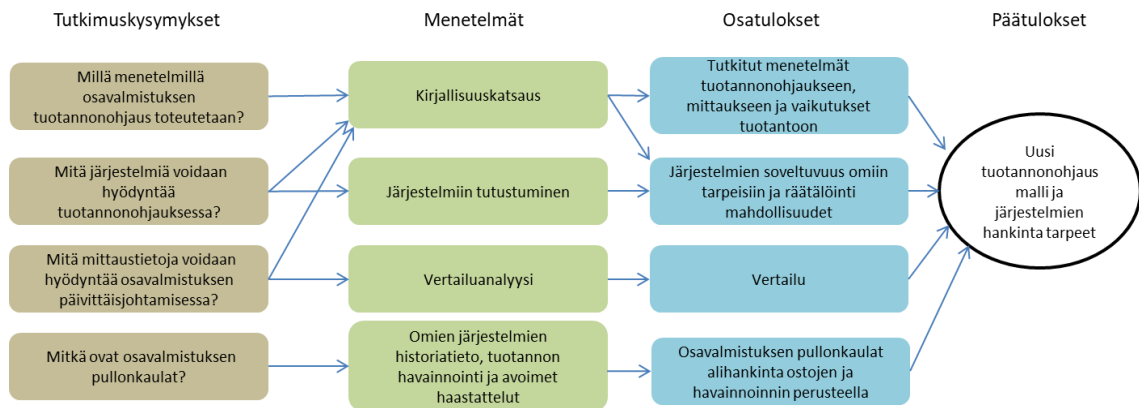
Työssä reflektiivisen ajattelun vaiheita voidaan kuvata Taggartin ja Wilsonin (1998) reflektiivisen ajattelun pyramidin mukaan, joka on nähtävissä alla kuvassa 1.



Kuva 1: Taggartin ja Wilsonin (1998) reflektiivisen ajattelun pyramidi (suomen­nettu ja mukailen lähteestä Taggart ja Wilson, 1998)

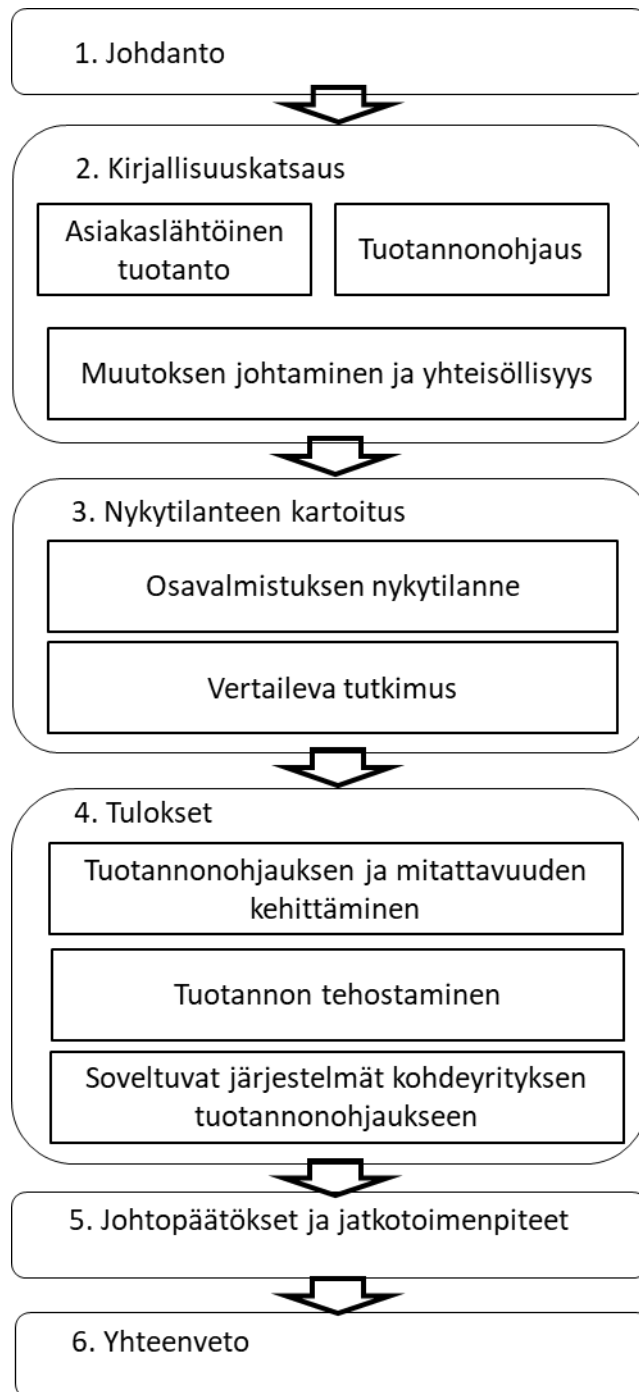
Tässä työssä nykytilanteen hahmottamisessa ajattelu perustui pyramidin mukaan tekni­seen tasoon. Teknisessä tasossa havainnoidaan aikaisempien kokemusten avulla ny­kyistä tilannetta ja tuotannonohjauksen käytöstä. Lisäksi tuotannonohjaus prosessista luotiin yksinkertainen teoreettinen kuvaus. Tuotannon kehittämiseen ja johtopäätösten luomiseen hyödynnettiin reflektiivisen ajattelun pyramidin toista tasoa, jossa tutkitaan vaihtoehtoisia käytäntöjä ja valinnat pohjautuvat tietoihin ja arvioihin. Näitä vaihtoehtoisia toimintatapoja testattiin analysoimalla ja toteuttamalla määriteltäjä kehityskohteita. Tä­män seurauksena voidaan palata teknisen tason ajatteluun havainnoimaan muutosten seurauksia ja vertaamaan niistä saatuja kokemuksia aikaisempiin kokemuksiin.

Fyysinen tutkimusprosessi voidaan jakaa alla kuvassa 2 esitettyihin vaiheisiin ja menetelmiin. Tutkimuskysymykset on laadittu vastaamaan tutkimusongelmiin, jotka esiteltiin alaluvussa 1.1. Menetelmät on määritetty, jotta tutkimuskysymyksiin saadaan osatulokset, jonka pohjalta voidaan esittää päätuloksia määriteltyjen tutkimusongelmien ratkaisemiseksi.



Kuva 2: Diplomityössä käytetyt tutkimusmenetelmät

Kirjallisuuskatsauksen, nykytila kartoituksen ja vertailuanalyysien pohjalta luotiin synteesi, jonka seurauksena esiteltiin ratkaisuja tutkimusongelmiin. Näitä ratkaisuja arvioidaan kriittisesti ja esitetään ratkaisusta saatuja tai oletettavasti saatavia hyötyjä. Lisäksi ratkaisuille, joille esitetään monia vaihtoehtoja, suoritetaan vertailua, jotta pystytään pääsemään parhaaseen ratkaisuun. Näiden ratkaisujen pohjalta tehdään johtopäätökset toteuttaako työ sille asetetut vaatimukset. Myös tulosten luotettavuutta, yleistettävyyttä ja relevanttiutta arvioidaan. Työn ollessa rajattu esitetään tutkimuksen aikana esiin nousseita jatkotutkimusaiheita ja suosituksia sekä millä mallilla työn jälkeen tulisi edetä. Lopuksi summataan yhteenvedossa työn merkittävimmät tulokset yhteen. Työn rakenne on nähtävissä alla loogisesti etenevänä kuvassa 3.



Kuva 3: Työn rakenne

2. TUOTANNON DIGITALISAATIO JA TUOTANNONOHJAUS

Tässä luvussa perehdytään asiakaslähtöiseen tuotantoon ja sen kehittämiseen. Kehittämisen lähtökohtana käytetään kahta teollisuudessa vaikuttavaa megatrendiä, jotka ovat Lean periaate ja tuotannon digitalisaatio, jota usein kutsutaan myös teollisuus 4.0. Tämän lisäksi käsitellään valmistavan teollisuuden tuotannonohjausta ja tuotannossa käytettäviä järjestelmiä. Kehittäminen ja uudet järjestelmät tuovat mukanaan aina muutoksia, joten tässä luvussa käsitellään myös muutoksen johtamista ja muutoksen vaikutuksia työyhteisöön.

2.1 Asiakaslähtöinen tuotanto

Yrityksen valitsema tuotantomuoto määrittelee pitkälti tuotantojärjestelmän ominaisuudet, mikä luo perustan myös yrityksen toiminnan johtamiseen ja ohjauksen periaatteeseen (Haverila et al. 2009, s. 350). Tässä alaluvussa käydään läpi asiakaslähtöisen tuotannon ominaispiirteitä, tuotannon tunnuslukuja ja mittareita, tuotannon digitalisaatiota sekä Leania asiakaslähtöisessä tuotannossa.

2.1.1 Asiakaslähtöisen tuotannon ominaispiirteet

Asiakasohjautuvalle tuotannolle ominaista ovat tuotteen mukaan tilaustuotanto ja valmistusaloitteen mukaan asiakasohjautuva tuotanto. Valmistusprosessin jatkuvuuden mukaan tuotanto muodot jaotellaan yksittäis-, sarja- ja yhtenäistuotantoon. Suomalaisille konerakennusyrityksille on tyypillistä sekatuotanto, joka tarkoittaa osien valmistusta sarjoissa, mutta kokoonpanon yksittäistuotantoa. Yksittäistuotannon valmistus tapahtuu yleensä asiakasohjautuvasti ja valmistuseräkokoo on yksi kappale. Sarjatuotannossa valmistetaan tuotetta tietty sarja tai erä kerrallaan. Tällä pyritään asetusajan lyhentämiseen ja toistuvuuden perusteella tapahtuvaan oppimiseen, joka nostaa tuotannon tehokkuutta. Sarjatuotantona tehdään esimerkiksi koneenrakennuksen komponentteja. (Haverila et al. 2009, s. 354–355.)

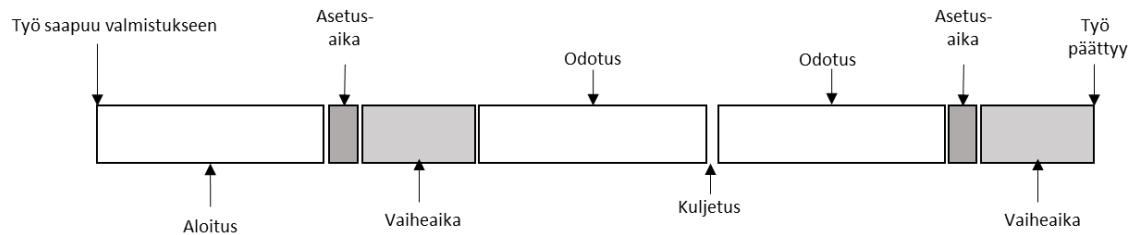
Asiakaslähtöisessä tuotannossa tuoteräätälöinti luo omat haasteensa valmistukselle. Näitä ovat esimerkiksi tuotannon joustavuuden saavuttamisen haasteet, tuotannon kapasiteetin hallinta ja määrittelyvirheistä johtuvat korjaustoimet tuotannossa (Blecker et

al., 2005). Tuotannolle voidaan asettaa tavoitteet, jotka ovat yleisesti kustannustehokkuus, laatu, aika ja joustavuus. Kustannustehokkuus pyritään saavuttamaan resurssien tehokkaalla käytöllä ja pitämällä tuotantoon sitoutuneen pääoman määrä mahdollisimman pienenä. Tämä saavutetaan lyhentämällä tuotantoprosessin läpäisyäikää, joka tutkitusti tehostaa prosesseja, parantaa toiminnan laatua ja pienentää kustannuksia KET (Keskenäinen tuotanto) varastojen pienentyessä (Haverila et al. 2009, s. 357). Tuotantoprosessin läpimenoajan lyhentäminen onkin nähty tärkeänä kehityskohteenä suomalaisissa konepaja yrityksissä, varsinkin isoja kompleksisia koneita ja laitteita valmistavissa yrityksissä (Järvenpää ja Lanz, 2014).

Laatu määrittyy tuotannon näkökulmasta tuotantoprosessin ja tuotteen virheettömyyden mukaan. Tuotantoprosessin virheet vaikeuttavat suunnittelua ja aiheuttavat lisäkustannuksia (Haverila et al. 2009, s. 357). Haasteet laaduntarkkailussa ja kirjaamisessa löytyvät yleensä silloin kun laatuvirheitä ei kirjata tai raportoida, vaan ne jäävät osaston omaan tietoon, jossa laatuvirheet korjataan. Laatuvirheistä raportoidaan usein vain suullisesti eikä virallisten kanavien kautta, jolloin laatu virheiden syyt jää usein selvittämättä ja korjaamatta (Järvenpää ja Lanz, 2014).

Joustavuudella haetaan nopeutta ja kustannustehokkuutta, jolloin tuotantoprosessia voidaan muuttaa ja omaksua uudet tuotteet tuotannossa (Haverila et al. 2009, s. 357–358). Joustavuus on erityisen tärkeää asiakasohjautuvassa tuotannossa, jossa tuoteräätälöinti laajentaa valmistettavien tuotteiden määrää jokaisen tilauksen yhteydessä (Lapinleimu, 1997 s. 62). Tuotannon joustavuuden saavuttamiseksi yrityksen tulee mitoittaa oma valmistuskapasiteettinsa joko kysyntää suuremmaksi, keskimäärin kysyntää vastaavaksi tai kysyntää pienemmäksi. Omaa kapasiteettia mitoittaessa tulee huomioida, että kapasiteetin lisääminen kestää usein pitkään ja vaatii merkittäviä investointeja. Omaa kapasiteettia voidaan lisätä tarvittaessa alihankinnasta, joten omaa kapasiteettia mitoittaessa tulee miettiä esimerkiksi kapasiteetin hintaa, alihankintojen saatavuutta ja hintaa sekä asiakkaan toimitusaikojen vaatimuksia. (Slack ja Lewis, 2017, s. 123–127)

Valmistuksen läpäisy aika kuvaa aikaa, joka kuluu valmistuksen aloittamisesta siihen asti, kun tuote valmistuu. Parempi ohjattavuus ja joustavuus toimituksiin saavutetaan lyhyiden läpäisy aikojen avulla. Lyhyt läpäisy aika tarkoittaa tuotantojärjestelmän toimivan tehokkaasti (Lapinleimu, 1997, s. 41, 53). Alla on nähtävissä tavallinen tuotteen läpäisyajan rakenne kuvassa 4.



Kuva 4: Tuotteen löpäisyajan rakenne (mukaillen Haverila et al., 2009, s. 417)

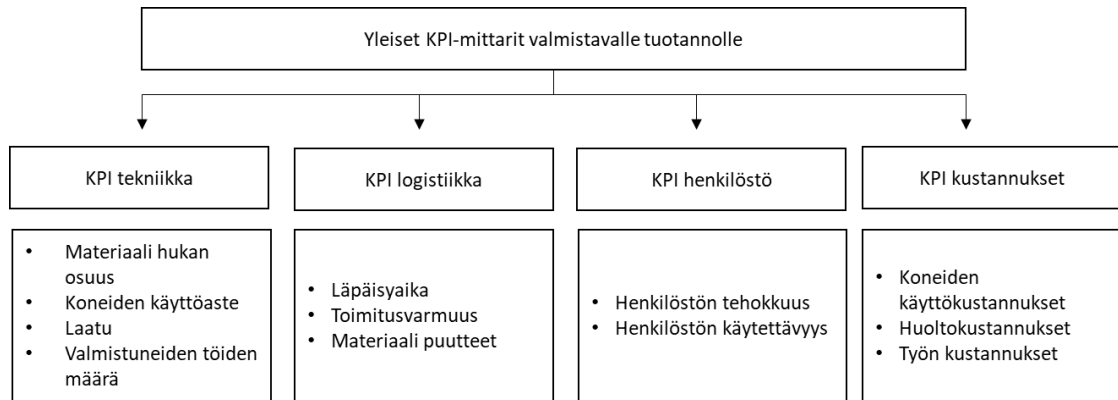
Kuvasta nähdään, ettei löpäisy aika kuvaa, kuinka kauan tuote vaatii prosessointia koneilla, vaan löpäisy ajasta valtaosa on odotusaikaa. Työnvaiheajat ovat yleisesti vain murto-osa tuotteen vaatimasta löpäisy ajasta. Toiminnan aikajänteiden ja löpäisy aikojen lyhentäminen on nykyään yksi tärkeimmistä tuotannon kehittämisen tavoitteista ja se helpottaa huomattavasti monia toimintoja yrityksessä. Lyhyt löpäisy aika helpottaa esimerkiksi tuotannon kapasiteetin suunnittelua, joustavuutta ja tuotannonohjattavuutta. (Haverila et al. 2009, s.401–402.)

Asiakasohjautuvassa tuotannossa valmistus johtaa pieniin eriin. Eräkohtaiset kustannukset syntyvät asetusajoista, ohjaustoiminnoista ja tehtaan sisäisistä ja ulkoisista kuljetuksista. Näihin ongelmiin vastataan lyhyillä läpimenoajoilla ja asetustekniikan kehityksellä. Asetustyö koostuu koneistuksessa kappaleen-, kiinnittimien-, työkalujen- ja ohjelmistojen vaihdosta. Lisäksi työstökoneen parametrien ja nollapisteen asetus vaikuttaa asetus aikaan. Tärkeää asetus aikoja vähentäessä on työn vaihdon valmistelemisen limitäin jalostavan työn aikana ja tallentamalla toistuvien nimikkeisiin vakioasetuksia. Tuotesuunnittelussa voidaan nopeuttaa asetuksia tuotannossa standardoimalla mekanisoidut kiinnityskohdat kappaleille. (Lapinleimu, 1997, s. 59–61.)

2.1.2 Tuotannon tunnusluvut ja mittarit

Yrityksen toiminnan ja tuotannon ohjauksen apuna käytetään tunnuslukuja. Tunnusluvut toimivat tuotannon seurannan ja tavoitteiden asettelun työkaluna. Tunnuslukuja analysoidaan ja niiden pohjalta johdetaan tuotantoa. Tärkeimmistä tunnusluvuista käytetään nimitystä KPI (Key Performance Indicators). Tuotannon tunnuslukujärjestelmistä löytyy yleisesti tuottavuus, kustannustehokkuus, tuotteiden laatu sekä toimitusvarmuutta kuvaava tunnusluku. Haasteena tunnuslukujen käytössä on vaikea ja suuritöinen tuotantoprosessin mitattavuus. Tunnuslukuja käytettäessä tulisi olla täysin varma mittaustulosten oikeellisuudesta ja vertailukelpoisuudesta ennen kuin tunnuslukuja aletaan käyttämään johtamisen tukena. Tämän takia tuotannossa tunnuslukujen käyttö vaihtelee huomattavasti. (Haverila et al. 2009, s. 398.)

Behrens (2007) esittää yleisesti tuotantoon soveltuvat KPI mittarit alla kuvassa 5. Kuvassa on jaoteltuna teknilliset-, logistiset-, henkilöstösidonnaiset- ja taloudelliset mittarit erikseen.



Kuva 5: KPI-mittarit valmistavassa tuotannossa (suomennettu lähteestä Behrens, 2007)

Käytettävät mittarit muodostuvat yrityksen strategian ja päämäärän mukaan. Valmistavassa tuotannossa ja varsinkin sarja- ja erätuotannossa keskitytään usein käyttöasteiden seuraamiseen ja parantamiseen. Käyttöasteiden seuraaminen mahdollistaa standardoidussa tuotannossa poikkeamien havaitsemisen ja tuotannon kehityksen seuraamisen (Behrens, 2007). Varsinkin yksittäistuotannossa tunnuslukujen ja mittareiden laatiminen voi olla hyvinkin haastavaa tuhansien nimikkeiden johdosta ja historiatiedon puuttumisen vuoksi. Asiakslähtöisessä tuotannossa tulisikin keskittyä tuotannon joustavuuteen ja läpimenoaikojen pienentämiseen (Stehn, Bergström, 2002). Tämän johdosta tunnuslukujen ja mittareiden tulisi keskittyä mahdollisimman lyhyiden läpäisyaikojen toteutumiseen ja KET-varastojen vähentämiseen. Tämän lisäksi tärkeitä mittareita asiakslähtöisessä tuotannossa ovat esimerkiksi pullonkaulan muodostavien koneiden käyttöasteet ja toimitusvarmuus. (Meissner et al., 2018)

Tuotannon tunnuslukujen ja mittareiden esittämiseen voidaan hyödyntää räätälöityjä Dashboardeja, joilla voidaan visuaalisesti esittää yrityksen KPI-mittareita tuotantoon. Käytettäessä näitä mittareita on tunnuslukujen selittäminen tuotannon työntekijöille tärkeää. Näin voidaan luoda ymmärrystä tunnuslukuja kohtaan ja miten niihin voidaan vaikuttaa. (Schuh et al., 2017, s.17.)

Mittareiden ollessa valideja voidaan mahdollistaa bonusjärjestelmän käyttäminen mittareiden perusteella. Tässä asiassa pitää huomioida, että mittarit ovat oikeudenmukaiset

ja kaikkien ymmärrettävissä. Henkilö- ja tiimikohtaisten bonusjärjestelmien nähdään aiheuttavan tervehenkistä kilpailua ja parantavan työmotivaatiota. Mittareille asetetut selkeät ja realistiset tulokset toimivat pohjana bonusjärjestelmälle. Tuotannossa onnistuneesti toteutetun mittaamisen ja mittausdatan analysoinnin avulla voidaan saavuutta parempaa yhteistä ymmärrystä mitattavasta asiasta ja sitä kautta kommunikaation parantumista. Mittaamalla myös parannustarpeet nousevat helpommin esiin ja toiminnan kehittämistä pystytään seuraamaan ja analysoimaan paremmin. (Järvenpää ja Lanz, 2014; Saari, 2006 s. 40–43.)

2.1.3 Tuotannon digitalisaatio

Digitalisaatio muuttaa radikaalista valmistavan tuotannon toimintoja nyt ja tulevaisuudessa. Merkittävämmät muutokset tapahtuvat toimitusketjun hallinnassa, tuotannon läpinäkyvyydessä ja oikea-aikaisen datan hyödyntämisessä. Suurin syy investoida tuotannon digitalisaatioon on saksalaisen tutkimuksen mukaan tehokkuuden nostaminen tuotannossa. Tämä saavutetaan oikea-aikaisen suunnittelun, poikkeamiin reagoinnin, paremman laadun ja pienemmän KET-varaston avulla. Yritykset odottavat digitalisaation käytön johdosta kahdentoista prosentin parannusta tuotannon tehokkuuteen viiden vuoden jälkeen digitalisaation aloittamisesta. (Geissbauer et al., 2017.)

Tuotannon digitalisointi tehdään pitkälti tuotannonohjausjärjestelmien, IoT:n (Internet of Things), pilvipalveluiden ja edistyneen datan keräämisen avulla. Tuotannon digitalisaatio mahdollistaa reaaliaikaisen datan tuotannon koneiden käyttöasteista, tehdyistä töistä ja siitä, mitä tuotannossa tapahtuu tietyllä hetkellä. Lisäksi tuotannon digitalisaatiota on laajennettu tärkeimpien alihankkijoiden kanssa, jolloin saadaan tietoa myös ostotilauksien reaaliaikaisista tiloista (Zhuang et al., 2018). Digitalisoidessa tuotantoa on tärkeää päättää millä tavalla tuotanto digitalisoidaan ja minkä toimittajien kanssa tuotantoa lähdetään digitalisoimaan. Tuotannon digitalisointi vaatii ympärilleen osaavat toimittajat ja järjestelmien syvä integroinnin, jotta digitalisoinnista saadaan oikeaa ja käytettävää dataa päätöksenteon tueksi (Schuh et al., 2017). Tuotantoa digitalisoidessa on syytä muistaa, että ne vaativat strategisia päätöksiä ja takaisinmaksuajat ovat monesti arvioltaan kahdesta viiteen vuoteen (Geiss-bauer et al., 2017).

Ennen tuotannon digitalisaatiota tulee olla käsitys mitä dataa halutaan kerätä, minne data kerätään ja kuinka tätä kerättyä dataa hyödynnetään. Lisäksi luvussa 2.1.2 esitetyt tärkeimmät KPI-mittarit tulee määritellä, joita aletaan mitata tuotannon datan avulla. Tuo-

tantoa digitalisoidessa prosessien toiminnan tulee olla selvälinjainen niin, että poikkeamiin voidaan reagoida mittausten perusteella. Tuotannon digitalisaatio vaatii ympärilleen myös varmatoimisen internet alustan ja järjestelmän, jolla data esitetään sitä hyödyntäville henkilöille. Tärkeää on näin ollen perustella datan keräämisen syyt ja datasta saatava hyöty. (Herzog et al. 2017; Steiner ja Lammer, 2017.)

Digitalisaatiosta suoraan saatavia hyötyjä ovat tarkempi ja reaaliaikaisempi tuotanto-data, datan hyödyntäminen ja sen visualisointi. Itse tuotannon kehittäminen tapahtuu datasta saatavan päätöksenteon avulla ja ongelmakohtien parantamisella. Digitalisoinnin riskejä ovat hyödyttömän tai virheellisen datan mittauksen ja ristiriidassa olevien tunnuslukujen ja mittarien käyttäminen. Tämän lisäksi työntekijöiden muutosvastarinta voidaan luokitella yhdeksi riskiksi digitalisaatiossa. (Meissner et al., 2018.)

2.1.4 Lean asiakaslähtöisessä tuotannossa

Lean on yksi tunnetuimpia menetelmiä, kun käsitellään tuotannon parantamista ja jatkuvaa parantamista. Lean perustuu prosessien hukkien vähentämiseen, jatkuvaan parantamiseen (Kaizen), prosessin sisään rakennettuun laatuun (Jidoka), työmäärän tasapainottamiseen (heijunka) ja JIT (Just in time, juuri oikeaan aikaan) tuotantomuotoon. (Majava ja Ojanperä, 2017.) Tässä alaluvussa esitellään Leanin hukkia ja niiden vähentämisen menetelmiä, kuten jatkuvaa parantamista. JIT tuotantomuotoa ja imuohjausta käsitellään 2.2.3 tuotannonohjauksen periaatteet alaluvussa.

Lean periaatteen yksi keskeisimmistä tavoitteista on jatkuvan virtauksen luominen. Lean tähtää virtaustehokkuuteen niin, että raaka-aineesta valmiisiin tuotteisiin kuluvaa aikaa pyritään vähentämään mahdollisimman paljon. Tämä virtaustehokkuuden toteuttaminen tuo tullessaan ongelmia, kun yrityksen varastot pienentyvät ja tehottomuus tulee esiin. Näitä ongelmia ratkaistaan yhdessä, joka on yksi Lean periaatteen keskeisimpiä aatteita. Tehottomuuteen vaikuttavat Leanin määrittelemät seitsemän hukan muotoa, jotka ovat listattuna alla. (Liker, 2006, s. 87–89.)

1. Ylituotanto
2. Odottaminen
3. Tarpeeton kuljettelu
4. Turha työ tai virheellinen käsittely
5. Tarpeettomat varastot
6. Tarpeeton liikkuminen
7. Laatuvirheet

Tämän lisäksi on määritelty kahdeksas hukan muoto, joka on työntekijöiden taitojen, tietojen ja luovuuden käyttämättömyys. Ensimmäiset seitsemän hukan muotoa ovat lisäarvoa tuottamatonta työtä, joiden vähentämiseen tulisi keskittyä. Ylituotantoa pidetään tärkeimpänä hukkana, sillä se aiheuttaa suuren osan muista hukan muodoista esiintyessään prosessissa. Lean tähtääkin luvussa 2.1.1 esitetyn läpiaikojen muodostumisen kohdalla odotuksen ja asetusten vähentämiseen eli arvoa tuottamattoman työn kitkemiseen, eikä esimerkiksi vaihe aikojen optimointiin. (Liker, 2006, s. 28–30.)

Lean periaatteessa tiedostetaan myös se, että prosesseissa on aina poikkeamia, jotka vaikeuttavat luvussa 2.2.3 esitetyn imuohjauksen toteuttamista ja jotka lisäävät hukkaa prosessissa. Tämä korostuu yrityksissä, joissa tuotteisto ei ole standardoitua. Tuotantoa tasapainottaessa tulee tuotannon kapasiteetti olla tiedossa, jottei tuotantoa ylikuormiteta. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi kanban korteilla, jotka kertovat, koska tuotantoon voi vapauttaa töitä niin, ettei ylituotantoa syntyisi. Tällainen tuotannon työmäärän kontrollointi pitää huolen, että tuotannon työkuorma vastaa tuotannon suorituskykyä. (Lippolt, Furmans, 2008.)

Tuotannon tasapainottamisessa on tärkeää määritellä tuotantoa rajoittava tekijä ja luoda sille puskurivarasto, jonka avulla pullonkaula vaihe pysyy käynnissä. Tällöin tuotannon muiden vaiheiden poikkeamat eivät pysäytä rajoittavaa vaihetta ja tuotannossa pystytään reagoimaan poikkeamiin, ennen kuin ne heikentävät tehokkuutta ja pysäyttävät pullonkaulavaiheen tuotannon. Tällaisen puskurin käyttö on perusteltua Lean menetelmiäkin hyödyntäessä, jos prosessia ei pystytä standardoimaan tai jos tuotannossa esiintyy suuresti poikkeamia esimerkiksi laitteiden merkittävän kompleksivisuuden johdosta. (Lippolt, Furmans, 2008.)

Yksi keino tähdätä hukkien vähentämiseen on jatkuva parantaminen eli Kaizen, joka vaatii työnjohdon ja ylimmän tason sitoutumisen jatkuvaan kehitykseen. Tämän lisäksi Kaizen vaatii työntekijöiden osallistumisen jatkuvaan parantamiseen, jotta parannukset tuotannossa tapahtuvat siellä, missä ongelmat ovat. Jatkuvan parantamisen pohjalla on tärkeä käyttää mittareita, jolloin voidaan havaita parantamisen positiivisia vaikutuksia, jotka lisäävät motivaatiota jatkuvan parantamisen toteuttamiseen. Näiden mittareiden tulisi tukea Lean ajatustavan virtaustehokkuutta prosessissa (Kumar et al., 2018). Kaizenin ylläpitämiseen hyödynnetään erilaisia tekniikoita, kuten 5S:ää, visuaalista ohjausta ja prosessien arvovirtojen kartoitusta (Suarez-Barraza ja Ramis-Pujol, 2010).

5S on osa Leanin visuaalista ohjausta, jotta ongelmat eivät jää piiloon. Sen perustana on pitää tehdas siistinä ja lajiteltuna, jotta työnteolle välttämättömät työkalut ovat aina saatavilla. Kaikilla työkaluilla ja materiaaleilla tulisi olla selkeät paikat tehtaassa. Työkalut tulisi jaotella käyttötarkoituksen, materiaalien selkeyden ja visuaalisuuden edistämisen mukaan. Tärkeää viiden S:än toteuttamisessa on järjestelmällinen järjestyksen ylläpitäminen ja tarkistaminen. Lisäksi visuaalinen ohjaus koostuu erilaisista viestintätavoista, jotka kertovat mitä työtä pitäisi tehdä ja poikkeako se normaalista. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi merkkamalla materiaali tai työ värein tai muulla visuaalisella menetelmällä. Visuaalinen ohjaus helpottaa oikeiden asioiden tekemistä ja vähentää näin ollen hukkaa. (Liker, 2006, s. 150–152.)

Lean tuotantomuotoa käyttöönotettaessa tulisi määritellä, mikä on arvoa tuottavaa työtä asiakkaan näkökulmasta, havaita tuotannon arvovirrat, eliminoida hukat, luoda virtaava prosessi, implementoida asiakaslähtöinen imuohjaus ja tähdätä täydellisyyteen. (Majava ja Ojanperä, 2017.) Lean on isommassa mittakaavassa yrityskulttuuri ja filosofia, jossa kaikkien osastojen tulisi toimia Lean periaatteiden mukaisesti. Lean-organisaatioksi pääseminen vaatiikin ylimmän johdon täyden tuen, haasteiden kohtaamisen ja haasteiden ratkaiseminen yhdessä koko organisaation toimesta. (Liker, 2006, s. 306.)

2.2 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjausprosessin vaiheista voidaan erotella myyntiennusteet ja tilaukset, kokonaissuunnittelu, karkeasuunnittelu, hienosuunnittelu, valmistuksen ohjaus ja valmistus. Näistä varsinaiseen tuotannonohjaukseen voidaan luokitella hienosuunnittelu, valmistuksen ohjaus ja valmistus. (ISA-95.0909) Laajan ja räätälöidyn tuotteiston omaavien yritysten on tärkeä määritellä tuotannolleen haluttu suunnittelutaso ja tiedostaa tuotannon variaation tuomat haasteet. Nämä tiedostaen on mahdollista rakentaa ohjaustapa, joka tukee yrityksen tuotantoprosessia (Hadaś ja Cyplik, 2012). Tässä alaluvussa käydään tarkemmin läpi karkeakuormituksen-, hienokuormituksen- ja tuotannonohjauksen suunnittelun periaatteita ja järjestelmiä.

2.2.1 Tuotannon karkeakuormittaminen

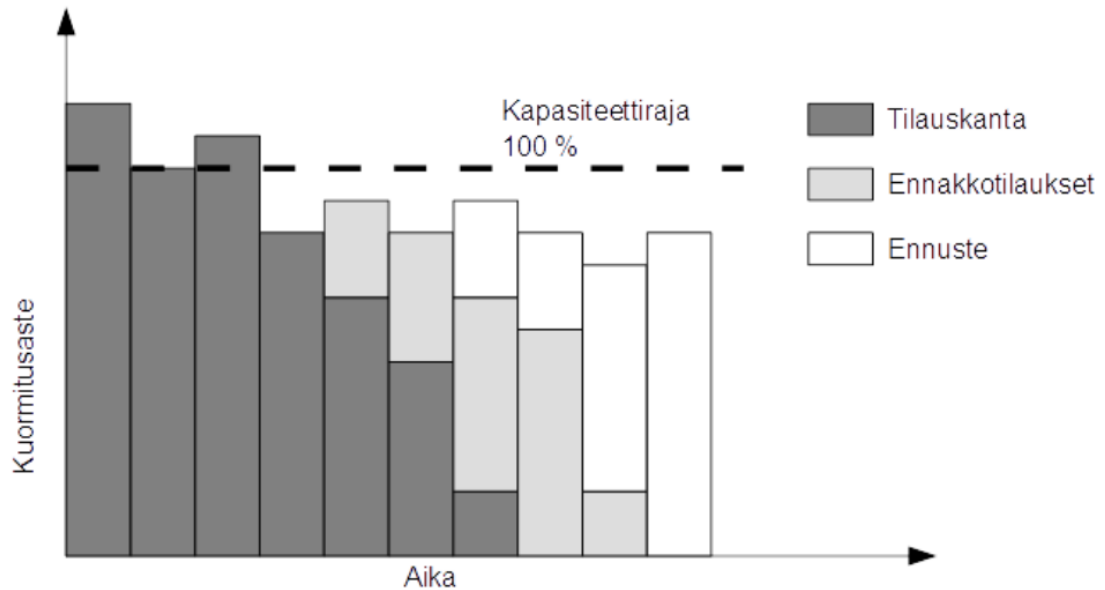
Tuotannon karkeasuunnittelun lähtökohtana on usein asiakaslähtöisessä tuotannossa yrityksen tilauskanta ja toimitusajat. Karkeasuunnittelua tehdään tavallisesti muutaman viikon aikajänteellä, mutta suuria projekteja toteuttavat yritykset voivat tehdä kar-

keasuunnittelua paljon pidemmällekin. Karkeasuunnittelun tehtävänä on resurssien käytön yleissuunnittelu eli tarkoituksena on määritellä tuotannon vaatimat resurssit ja luoda viikkokohtainen aikataulu resurssien käytöstä. (Haverila et al. 2009, s. 415.)

Tuotannon kapasiteetti on tuotantokykyä kuvaava mittari. Kapasiteetti ilmoittaa tuotannon enimmäissuorituskyvyn aikayksikössä. Jos tuotannossa eri tuotteet vaativat eri määrän kapasiteettia, määritellään kapasiteetti tuotantoresurssien käyttöaikana. Kapasiteetin yhteydessä käsitellään yleensä kuormitusryhmää, jolla tarkoitetaan kokonaisuutta, jonka kapasiteetin kuormitusta tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena (Slack ja Lewis, 2017, s. 122). Karkeakuormitusta hallittaessa käytetään laajoja kuormitusryhmiä. Tuotannossa kapasiteetin hallinta perustuu suunniteltujen töiden oletettuun kuormitukseen ja kuormituspisteiden kapasiteettiin. Kuormitus kertoo näin ollen kuinka paljon suunniteltu tuotanto varaa kapasiteettia kuormitusryhmältä (Haverila et al. 2009, s. 399–400).

Päähuomio karkeakuormittamisessa on resurssien eli kapasiteetin sopeuttamisessa tuotannon tilanteeseen nähden. Karkeasuunnitelman avulla määritellään yleisesti myös tilausten toimituskyky. Asiakasohjautuvassa tuotannossa asiakkaalle luvataan toimitusai-kataulu pitkälti karkeasuunnitelman perusteella. Tilaustuotteet, jotka ovat tilauksen mukaan suunniteltu osittain tai kokonaan ovat vaikeita hallittavia kokonaisuuksia, sillä tarkan suunnitelman laatiminen on vaikeaa tai mahdotonta. Tällöin karkeakuormitus joudutaan tekemään likimääräisten kapasiteettitarpeiden mukaan. (Haverila et al. 2009, s. 415–416) Useat yritykset tekevät resurssien kuormitussuunnitelmia Excelillä, sillä ERP-järjestelmällä tehtävä kapasiteetin hallinta ja päivittäminen on hyvinkin kankeaa (Järvenpää ja Lanz, 2014).

Karkeasuunnitelman avulla laaditaan näin ollen alustava tuotantosuunnitelma ja käytettävät kuormitusryhmät voivat olla hyvinkin laajoja, esimerkiksi tehtaan kokonaiskapasiteetti tai koneryhmien kapasiteetti. Kuormitusryhmän kuormitusta kuvataan myös monesti kuormituspiirroksien avulla, joka on nähtävissä alla kuvassa 6. Ajantasaisesta kuormituspiirroksista saadaan selville käytettävissä oleva kapasiteetti, kapasiteetin aiempi käyttö ja suunniteltu kapasiteetin kuormitus. (Haverila et al. 2009, s. 416.)



Kuva 6: Kuormituspiirros kapasiteetista (mukaillen Haverila et al., 2009, s. 417)

Kuormituspiirroksen avulla pystytään tulkitsemaan kapasiteetin sopeutuksen tarvetta ja suunnittelemaan tuotantoa. Kapasiteettia tarkastellaan kuormituspiirrosten avulla karkeakuormituksessa yleisesti viikkokohtaisesti. Tavallisesti kuormitus tehdään rajoittamattomaan kapasiteettiin, jolloin tuotannon hienokuormittamisen tehtäväksi jää tasoittaa kuormituksen vaihtelu hienokuormitus vaiheessa. (Haverila et al. 2009, s. 417.)

2.2.2 Tuotannon hienokuormittaminen

Tuotannon hienokuormittaminen on valmistuksen yksityiskohtaista suunnittelua. Tuotantotilaukset syntyvät hienosuunnitelman perusteella, jonka mukaan tuotteet valmistetaan. Hienosuunnittelun lähtökohtana toimii karkeakuormitus valmistettaville tuotantoerille. Hienokuormittamisen tehtävinä on luoda tarkka suunnitelma kuormituspisteiden käytöstä, suunnitella eri työvaiheiden ajoitus ja muodostaa tuotantotilaus tuotteelle. Monet suomalaiset yritykset hoitavat tuotannon suunnittelun ja kuormittamisen ERP-järjestelmässä ja käyttävät ERP:n lisäksi Exceliä tukemaan suunnittelua, sillä ERP-järjestelmä ei ole suunniteltu tuotannon hienokuormittamiseen ja -suunnitteluun. (Järvenpää ja Lanz, 2014.)

Hienokuormittamisessa pyritään yhdistämään samanlaisten tuotteiden ja osien valmistus sarjoiksi, jotta säästytään ylimääräisiltä asetusajoilta. Hienosuunnitelma vaatii työvaiheiden ja vaiheajojen tuntemista. Yksityiskohtaisuus ja valmistustietojen tarkkuus vaikuttavat hienosuunnitelman tarkkuuteen. Tuotantoprosessissa pyritään itse ohjattavuuteen.

teen eli hienokuormittaminen pyritään tekemään kuormitusryhmien mukaan, jotka ohjaavat erikseen työn valmistamisen ryhmän kuormituspisteille. (Haverila et al. 2009, s. 417–418.) Yrityksissä, joissa täysin uusia nimikkeitä tulee usein, ei voida turvautua tai käyttää historiatietoa vaan työvaiheiden ajat perustuvat valistuneisiin arvauksiin, jonka perusteella kuormitustilanne muodostuu (Järvenpää ja Lanz, 2014).

Hienosuunnitelmaa laadittaessa tulisi nykyinen tuotannon tilanne olla tiedossa. Kuormitusryhmien työjonot, tuotantosuunnitelmien jättämät ja tuotantohäiriöt vaikuttavat tuotannon käytettävissä olevaan kapasiteettiin huomattavasti. Hienosuunnitelmaan joudutaan tekemään tuotantohäiriöiden ja suunnitelman jättämien johdosta monesti muutoksia, jotka vaikuttavat koko hienosuunnitelmaan. Suunnitelmalla pyritään luomaan työjärjestys, joka toteuttaa tuotannon tavoitteet hyvin. Tavallisia tavoitteita on hyvä toimitusvarmuus, lyhyet läpimenoajat ja korkea tuottavuus. Nämä tavoitteet ovat yleensä kuitenkin hyvin ristiriidassa. Tärkeää onkin löytää selkeät säännöt sille, kuinka paljon kuhunkin päämäärään tähdätään. Varsinkin pullonkaula työvaiheiden suunnittelu kannattaa tehdä huolellisesti, koska pullonkaulassa menetetty tuotanto rajoittaa koko tehtaan tuotantoa. Pullonkaulavaiheessa kannattaakin painottaa enemmän tuotannon maksimointia, kun taas muissa vaiheissa läpäisyajojen lyhentäminen on ensisijainen tavoite. (Haverila et al. 2009, s. 418.)

2.2.3 Tuotannonohjauksen periaatteet ja lattiataason ohjaus

Hienokuormittamisessa tärkeässä roolissa on tuotannon ajoittaminen. Tuotantoa ajoitetaan joko taaksepäin ajoituksella tai eteenpäin ajoituksella. Tämän lisäksi tuotantoa voidaan ajoittaa imuohjauksen mukaan, joka perustuu JIT (Just in Time) periaatteeseen. Eteenpäin ajoituksessa valitaan työlle aloituspäivä, jonka mukaan työ ajoittuu eteenpäin työvaiheidensa mukaan. Käytetyin menetelmä tuotannonohjauksen tietojärjestelmissä on taaksepäin ajoitus, jossa tuotantotilaus ajoitetaan valmistuspäivämäärän mukaan. Tällöin aloitusaika tulee työvaiheiden kestojen mukaan niin, että työ on valmistuspäivämääränä valmis. Ajoituksen tarkkuutta parannetaan käyttämällä siirto- ja odotusaikoja määriteltujen valmistusvaiheiden välissä. (Haverila et al. 2009, s. 419; Hadaš ja Cyplik, 2012.)

Edellä kuvatut menetelmät ovat työntöohjaus valmistussuunnitelmia eli tuotantoerä työnnetään tuotannon läpi. Työntöohjaus on eniten käytetty ja hyvä suunnittelumenetelmä, mutta se vaatii selkeää ja hallittavaa valmistusprosessia. Työntöohjaus menetelmässä ongelmat usein konkretisoituvat suunnitelmien ja todellisen valmistustilanteen ristiriitaan.

Ongelmaksi tulee yleensä se, ettei liian realistisissa suunnitelmissa pysytä. Tämä synnyttää ylimääräisiä varastoja ja valmistuksen suunnittelu ja hallinta vaikeutuvat entisestään, kun hallittavien asioiden määrä kasvaa ja läpäisyajat pitenevät. (Haverila et al. 2009, s. 422.) Suunnittelu vaikeutuu entisestään, kun käytetään alihankintaa tuotannossa, sillä alihankinta voi aiheuttaa toiminnallaan variaatiota tuotantoon, jos se ei tarjoa täysin paikkaansa pitäviä toimitusaikoja (Järvenpää ja Lanz, 2014).

Imuohjaus on JIT-periaatteen tarpeeseen kehitetty ohjaamistapa materiaalivirroille ja töille. JIT-periaate määritetään tässä yhteydessä strategialla, joka yhdistää tuotannon ja hankinnan toimimaan juuri oikeaan aikaan poistaen hukkaa ja optimoiden tilaus-toimitusketjun toimintaa. (Claycomb et al. 1999). JIT-periaate on syntynyt Japanissa ja menetelmän tavoitteena sekä toimintatapana on tarjota prosessiin oikeat materiaalit oikeaan aikaan. Tällainen toimintatapa vähentää onnistuessaan KET-varastoja ja sitoutunutta pääomaa huomattavasti, lyhentää läpimenoaikoja, parantaa joustavuutta ja paljastaa tuotannon tehottomuuden lähteitä, joita suuret varastot piilottaisivat. Tämä vaatii täydellisesti toteutettuna vakioituja prosesseja tuotannossa. (Lai ja Cheng, 2009 s. 9–10.)

JIT-periaatteessa valmistus tulee tapahtua aina oikeaan tarpeeseen. Näin ollen valmistusimpulssi tulee aina seuraavasta valmistuksen tasosta, jolloin voidaan varmistaa, että tuotteen eteenpäin viemistä varten on seuraavan vaiheen resurssit vapaana (Inman et al., 2011). Valmistusimpulssi voi tulla kanban-kortein, visuaalisella menetelmällä tai jollakin muulla menetelmällä. JIT tapahtuu näin ollen imuohjauksen avulla, eikä työntöohjaamalla. Laajan tuoteiston omaavat yritykset käyttävät monesti ohjaukseensa työntö- ja imuohjauksen sekoitusta, jolloin hyödynnetään kummankin menetelmän etuja ohjattaessa vaikeasti hallittavaa tuotantoa (Hadaś ja Cyplik, 2012).

JIT-periaatteen noudattaminen on hyvin haastavaa yrityksissä, joissa tuotteille tehdään paljon asiakasräätelöintiä. Tämä johtuu siitä, että prosessissa on paljon variaatiota johdettujen nimikkeiden suuresta määrästä ja standardoinnin puutteesta. Tällöin tuotannon suunnittelun tarkkuus on hyvin haastava saada JIT-periaatteen vaatimalle tasolle (Järvenpää ja Lanz, 2014.) JIT-periaate vaatii myös sen, että alihankkijat sitoutuvat noudattamaan periaatetta ja, että yrityksen oma ja alihankintaverkoston toiminta synkronoituu vahvasti keskenään. (Green Jr. et al., 2014.)

Suuren tuotevariaation yrityksille on kehitetty erilaisia ohjaustapoja. Yksi käytännössä ja simuloinnilla validoitu ohjausjärjestelmä asiakaslähtöiseen tuotantoon on WLC (Work Flow Control), jonka periaatteena on ohjata töitä työkuorman mukaan tuotantoon. Tämä

tapahtuu rajoittamalla töiden viemistä tuotantoon, vaikka tuotantotilaus olisikin luotu. Käytännössä tuotannonsuunnittelu pitää työt, jotka on suunniteltu tehtävien töiden makasiinissa siihen asti, että tuotantoon voidaan rajauksien perusteella viedä lisää töitä valmistettavaksi. Rajoittaminen perustuu tuotannossa olevaan työkuormaan, joka pidetään tiettyjen ala- ja ylärajan välissä. Tällä mahdollistetaan tuotannon parempi kapasiteetin hallinta ja rajoitetaan keskeneräisiä töitä tuotannossa. Etuna on myös alihankintatarpeen aikaisempi huomaaminen tuotannon työjonoista ja työn helpompi siirtäminen ja kontrollointi. Tämä ohjautapa myös vapauttaa lattiataason suunnittelulta vastuuta tuotannonsuunnittelijoille, sillä suunnittelulla on mahdollista suunnitella töitä todellisen kuormituksen ja työjonojen mukaan. (Kingsman, 2000, Thürer et al., 2016.)

Monet yritykset ohjaavat lattiatasolla töiden etenemistä paperisilla työmääräimillä (Järvenpää ja Lanz, 2014). Ohjaavana tekijänä toimivat silloin taaksepäin ajoituksen tai eteenpäin ajoituksen mukaiset toimituspäivämäärät. Lisäksi tuotannossa hyödynnetään kiire tilanteissa erilaisia prioriteettisääntöjä. Priorisointi on jonkin työvaiheen asettamista toisen edelle ja priorisointisääntönä voi toimia esimerkiksi pienin pelivara toimitusajassa (Haverila et al., 2009, s. 419–422). Priorisoinnit tulevat hyvin usein tuotannossa imuohjauksen periaatteiden mukaisesti eli oikeaan tarpeeseen. Yleisesti kuitenkin näille priorisoinnille ei ole tarkkaa sääntöä ja priorisoinnin käyttöä ei ole erikseen yrityksessä määriteltä (Hadaś ja Cyplik, 2012).

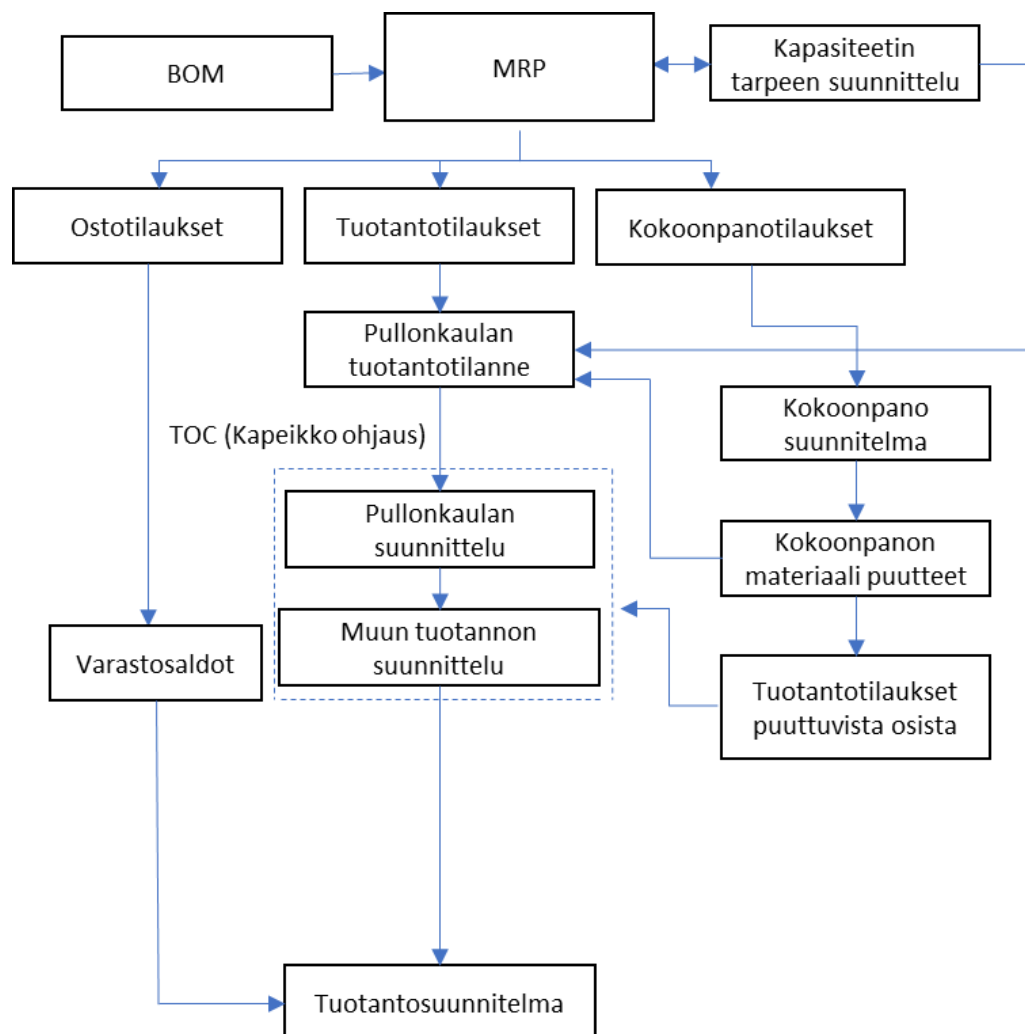
Työvaiheista kerätään monesti tietoa töiden kuittausten avulla. Automatisoidulla linjoilla kuittaukset tapahtuvat automaattisesti järjestelmiin ja monet koneet tekevät automaattisen kuittauksen ajaessa standardoituja työvaiheita (Zhuang et al., 2018 s.1151). Manuaalisesti tehtävissä töissä kuittaukset tehdään monesti hyvin epämääräisesti, sillä työn leimauksista vastaa työntekijä, jolloin on suuri mahdollisuus töiden kuittausten virheellisyyteen. Töiden kuittausten ollessa mahdotonta tai haasteellista automaattisesti, kuittausten tekeminen manuaalisesti tulisi olla mahdollisimman helppoa ja vaivatonta työpisteillä. Tämän avulla parannetaan datan laatua ja mahdollistetaan oikea-aikaisen datan käyttöä johtamisessa (Hu ja Xiong, 2014).

2.2.4 Kapeikko ohjaus TOC

TOC (Theory of Constraints) on pullonkaulaan perustuva ajattelutapa tuotannonohjauksesta. Sen perustana on todeta pullonkaula tuotantoprosessista, joka rajoittaa ja ohjaa tuotantoa sekä sen suorituskykyä. Tätä pullonkaula resurssia käytetään kapeikkona,

jolla ohjataan tuotantoa. Kapeikko ohjauksen on nähty soveltuvan varsinkin epäjatkuvaan tuotantoon, jossa tarkka suunnitelmallisuus on hyvin haastavaa. Tällöin kapeikko rajoittaa keskeneräisen tuotannon määrää, vähentää tuotannon läpimenoaikoja ja parantaa hallittavuutta. Kapeikko ohjauksen kritiikkinä on nähty pullonkaulan mahdollinen muuttuminen variaation johdosta, jolloin kapeikon ohjauspisteitä tulisi muuttaa hyvinkin joustavasti. (Stevenson et al., 2005; Qiao ja Geng 2013.)

Kapeikko ohjauksessa kuormitusryhmät ennen kapeikkoa tulisi toimia imuohjautuvasti kapeikon tarpeen mukaan. Kapeikon jälkeen tuotannon ohjauksena toimii työntöohjaus valmiiksi tuotteeksi. (Qiao ja Geng, 2013.) Alla on nähtävissä kuvassa 7 (Qiao ja Geng) laatima prosessikaavio kapeikko ohjauksesta raskaassa kokoonpano yrityksessä.



Kuva 7: Tuotannonohjaus kapeikko-ohjauksella (Suomennettu ja mukailtu lähteestä Qiao ja Geng, 2013)

Kuvassa BOM (Bill of Materials) kertoo MRP (Material requirement planning) järjestelmälle, mitä osia valmistettavassa tuotteessa on. MRP luo tuotantotilaukset, joiden poh-

jalta voidaan havaita pullonkaulan tuotantotilanne ja suunnitella pullonkaula, jonka jälkeen muu tuotanto suunnitellaan pullonkaulan mukaan. Tämän lisäksi tulee huomioida kokoonpanosuunnitelmat ja niiden variaatiot, koska tuotantotilanteeseen voi tulla kesken prosessin lisää kuormitusta. (Qiao ja Geng, 2013.) TOC-menetelmän käyttöönotto vaatii huomattavia muutoksia prosessiin, toimintatapoihin ja asenteisiin. Tehdessä vaativia implementointeja on tärkeää luoda suunnitelma uusille prosesseille, kuten yllä kuvassa 7. Tämän lisäksi on tärkeää luoda käyttöönottosuunnitelma uudelle menetelmälle. Prosessikartan ja projektin vaiheiden avulla voidaan valvoa implementointia. Preezin ja Louwin (2004) esittämä etenemissuunnitelma TOC käyttöönotto projektille on nähtävissä alla kuvassa 8.



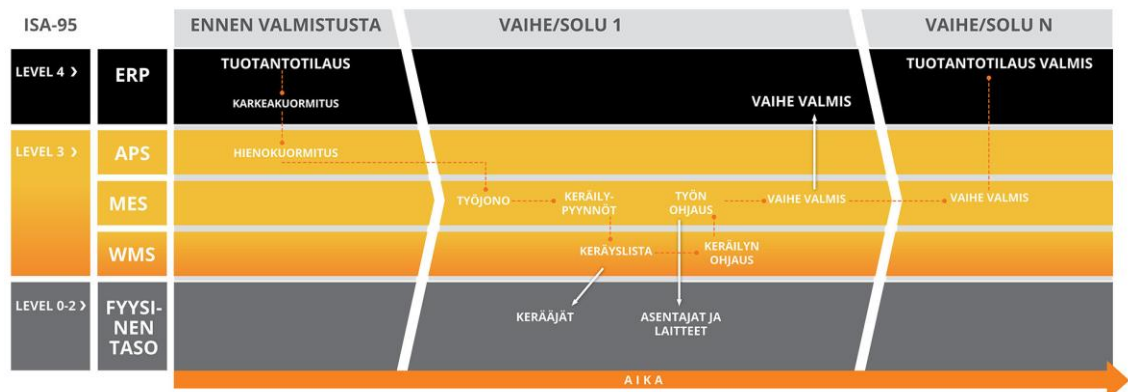
Kuva 8: TOC käyttöönotto etenemissuunnitelma (suomennettu ja mukailtu lähteestä Preez ja Louw, 2004)

TOC-menetelmällä pyritään pullonkaula vaiheessa hyödyntämään resurssitehokkuutta eli tehokkuuden maksimointia. Vaiheet ennen pullonkaulaa pyritään taas saamaan mahdollisimman virtaustehokkaaksi, jotta läpäisyajkojen lyhentäminen mahdollistetaan tuotannossa (Mabin ja Balderstone, 2003). Kapeikon rajoittaminen toteutetaan useimmiten kapeikon ohjaukseen käytettävän tunnusluvun tai mittarin avulla. Tämä tunnusluku on usein, kuinka monta keskeneräistä työtä kapeikon ohjauspisteellä on jonossa tai kuinka suuri kuormitus on ohjauspisteellä, jos töiden työajat vaihtelevat merkittävästi keskenään. Kun tämä luku laskee alle alarajan, vapautetaan tuotantoon lisää töitä (Kingsman, 2000). Kapeikossa pidetään aina pieni välivarasto, koska kapeikossa odottaminen laskee koko tuotannon tehokkuutta. Muiden ohjauspisteiden tulisi palvella kapeikkoa esimerkiksi valmistelemalla kappaleita mahdollisimman hyvin ennen kapeikon työvaiheita (Qiao ja Geng, 2013).

2.2.5 Tuotannonohjauksen järjestelmät

Tuotannonohjausjärjestelmiä käsiteltäessä on hyvä tukeutua ISA-95 standardiin, joka liittyy tuotannonohjausjärjestelmiin ja niiden integraatioon muihin järjestelmiin. ISA-95 tavoitteena on luoda yhtenäinen terminologia, joka mahdollistaa käyttäjän ja järjestelmän toimittajan yhteistyön. Tämän lisäksi standardi tarjoaa liiketoiminnan hallinnan tason ja tuotantotason välille informaatiomalleja ja johdonmukaisia operaatiomalleja tasojen ja järjestelmien väliselle kommunikaatiolle. Alla on nähtävissä kuvassa 9 ISA-95 standardin määrittelemät tasot ja tehtävät tasoissa tuotannon näkökulmasta ennen valmistusta ja valmistuksen aikana. Tasojen tyypillisiksi tehtäviksi standardi määrittää esimerkiksi alla listatut tehtävät. (ISA-95.00.01-2005 ja ISA-95.00.03-2005.)

- Tasossa 4 tapahtuu materiaalin hallinta, karkean tuotantosunnitelman laatiminen ja tuotteiston rakenteiden hallinta
- Tasossa 3 tapahtuu tuotannon hienokuormittaminen, tuotantoprosessin seuranta ja varastojen hallinta
- Tasossa 0–2 tapahtuu tuotannon fyysinen toteutus eli valmistaminen ja kaikki siihen liittyvät valmistavat toiminnot työntekijöiden ja automaation toimesta.



Kuva 9: ISA-95 Standardin tasot (Lähde Leanware)

Toiminnanohjausjärjestelmässä suoritetaan tuotannon karkeakuormitusta ja ERP-järjestelmissä on käytettävissä taaksepäin- ja eteenpäin ajoitus tuotantoa kuormittaessa. ERP-järjestelmä ei kuitenkaan ota huomioon muita samaan ajankohtaan kuormitettuja tuotantotilauksia, jolloin ajoitus tapahtuu rajoittamattomaan kapasiteettiin. Tämä ei kuitenkaan nykyään yleisesti enää riitä teollisuudessa, vaan tuotanto halutaan suunnitella tarkemmalla hienokuormitustasolla. Tähän tarpeeseen on kehitetty APS-järjestelmä (Advanced Planning and Scheduling) eli tuotannonsuunnittelujärjestelmä. (Stadler, 2005.)

APS-järjestelmät ottavat suunnitelmissaan työjonot, resurssitarpeet ja henkilöstötarpeet huomioon. Järjestelmä pystyy optimoimaan tuotantoaikataulua erilaisten määritelmien

mukaan. APS-järjestelmä vaatii toimiakseen validia tietoa työvaiheista ERP-järjestelmästä, jotta järjestelmä voi toimia hienokuormitustasolla. APS-järjestelmää implementoitaessa on tärkeää määritellä ERP- ja APS-järjestelmän välinen rajapinta niin, että tiedetään missä vaiheessa tuotannonsuunnittelua jatketaan APS-järjestelmän toimesta. (Vidoni ja Vecchiatti, 2015.)

MES-järjestelmä (Manufacturing Execution System) on tuotannonohjaamiseen käytettävä järjestelmä, jonka tehtävänä on tiedon välittäminen tuotannon fyysiselle tasolle ja toteutuneen tiedon kerääminen lattiatasolta. MES-järjestelmä lukeutuu ISA-95:ssä 3 tason järjestelmäksi ja esimerkki sen toiminnoista on nähtävissä yllä kuvassa 9 (ISA-95.00.03-2005). MES-järjestelmä hallitsee työkoneita, työjonoja, materiaaleja, henkilöstöä, työohjeita ja työn toteutumista lattiatasolla. Sen tärkeimpiä tehtäviä on tarjota ajantasaista tietoa suunnitteluun ja ohjata työtä lattiatasolla. (Fei, 2010.)

MES-järjestelmän avulla tuotteiden valmistumisajoista saadaan tarkempaa tietoa ja näin ollen tuotannonsuunnittelu ja kapasiteetin hallinta parantuvat. MES-järjestelmä on helpokäyttöinen järjestelmä, joka parantaa lattiatasolla tuotantodatojen keräämistä, sillä työntekijät pystyvät järjestelmän kautta kirjaamaan poikkeamat helposti reaaliaikaisesti. Järjestelmä pitää tuotannon tilanteen reaaliajassa muissa tietojärjestelmissä. Tämä mahdollistetaan MES-järjestelmän integroinnilla ERP- ja APS-järjestelmään. (Govindaraju ja Putra, 2016.)

MES-järjestelmän integroinnin hyötyjä WMS-järjestelmän (Warehouse Management System) eli varastohallintajärjestelmän kanssa on tutkittu lähiaikoina laajasti. Järjestelmien integrointi mahdollistaa materiaalien tarkemman hallinnan ja parantaa JIT-tuotantomuodon toteuttamista tuotannossa. WMS voi tarjota materiaalitarpeen MES-järjestelmälle, jonka avulla pystytään hallitsemaan ja priorisoimaan tuotannon työjonoja. (Michel, 2018.) Kuvassa 9 on nähtävissä yksi tapa, miten järjestelmät voivat kommunikoida keskenään tuotannon keräilyssä (Leanware, 2019).

Tuotantoon implementoitavien IT-järjestelmien tulee vähentää manuaalista työtä ja näin ollen parantaa tiedon luotettavuutta sekä toiminnan tehokkuutta. Tämän lisäksi järjestelmien tulee tarjota parempi läpinäkyvyys eri toimijoiden välillä verkostossa. Tavoitteena on tukea työntekijöitä tarjoamalla tieto nopeasti ja visuaalisesti niin, että työntekijät pystyvät keskittymään arvoa tuottavaan toimintaan ja tekemään tehokkaita päätöksiä saatavalla olevan tiedon pohjalta. (Järvenpää ja Lanz, 2014.)

2.2.6 Tuotannonohjausjärjestelmän käyttöönottoprosessi

Uutta tuotannonohjausjärjestelmää implementoidessa tulisi MESA-järjestön (Manufacturing Enterprise Solutions Association) mukaan ottaa huomioon seitsemän eri implementointiin liittyvää vaihetta. Anisimov ja Reshetnikov (2011) ovat avanneet kyseisiä vaiheita enemmän ja esittäneet näkemyksensä vaiheiden sisällöstä. MESA-järjestön määrittämät seitsemän vaihetta ovat listattuna alla.

1. Aloitusvaihe
2. Analysointi
3. Tavoitteiden asettaminen
4. Suunnittelu
5. Kehittäminen
6. Implementointi
7. Optimointi

Ensimmäisenä vaiheena toimii aloitusvaihe, jossa tiedostetaan tuotannonohjauksen kehityksen tarve ja todetaan järjestelmän vastaavan mahdollisesti johonkin ongelmaa sekä tukevan ohjauksen kehitystä. Tämän jälkeen analysoidaan enemmän järjestelmän ominaisuuksia ja järjestelmästä saatavia hyötyjä. Tässä kohtaa järjestelmän taloudellisia hyötyjäkin tulisi arvioida ja laatia järjestelmälle karkea takaisinmaksuaika arvio. Näiden kartoitusten pohjalta saadaan tavoitteet järjestelmälle ja mihin ongelmiin järjestelmän tulisi vastata. Tavoitteiden asettaminen järjestelmälle on yksi olennaisimpia vaiheita. Tavoitetilassa pitäisi selkeästi olla näkyvillä nykyiset haasteet ja tavoitetila järjestelmälle. (Anisimov ja Reshetnikov 2011; Knight ja Lamb, 2006.)

Tämän jälkeen tulee itse järjestelmän suunnittelu ja järjestelmä toimittajien kartoitus. Toimittajien kartoitus tulisi tehdä huolella ja osaavan projektiryhmän toimesta. Ryhmässä käytävä järjestelmien ja toimittajien kartoitus vähentää henkilökohtaisia mielipiteitä järjestelmän toimittajien kohdalla ja tähtää parhaiten yrityksen tarpeita vastaavan järjestelmän valintaan. (Anisimov ja Reshetnikov, 2011.) Järjestelmävalintaa tehdessä voidaan hyödyntää vertailuanalyysia. Raikkonen (2018) esittää Diplomityössään, että MES- ja APS-järjestelmien vertailuanalyysissa voidaan hyödyntää kolmea toimenpidettä, jotka ovat referenssivierailut, demoesitykset ja pilotit järjestelmä toimittajien kanssa (Raikkonen, 2018). Vertailuanalyysit voidaan toteuttaa 2.3.2 alaluvussa esitetyllä strukturoiduilla skaaloihin perustuvilla kysymystyypeillä ja vastauksien välisillä vertailuilla. Vertailun kriteerit ovat aina yritys sidonnaisia, mutta merkittäviä tekijöitä ovat järjestelmätoimittajan referenssit, vakavaraisuus, järjestelmän ominaisuudet ja kustannukset (Knight ja Lamb, 2006).

Vertailuanalyyseissa tulisi huomioida, että tuloksiin johtava oppimisympäristö on oman organisaation ympäristö, johon järjestelmä implementoidaan. Onnistunut pilottihanke parantaa yhteistoimintaa organisaatiossa ja antaa erinomaisia suuntaviivoja järjestelmän kehittämiseksi sekä motivaatiota järjestelmää kohtaan. Epäonnistunut pilottihanke taas osaltaan vaikeuttaa järjestelmän tuomista organisaatioon. (Lapinleimu, 1997 s. 278-279.)

Kattavan vertailuanalyysin jälkeen valitaan toimittaja, jonka järjestelmää ryhdytään kehittämään implementoimista varten. Toimittajan valinta pitäisi selkeästi erottua valituilla vertailuanalyysin kriteereillä tai erottua jollakin selkeillä osa-alueilla muista järjestelmätoimittajista. Tässä vaiheessa projektiryhmään voidaan tehdä muutoksia yrityksen organisaation vastuualueiden mukaan niin, että uuden järjestelmän toimintatavoista ja rajoista ollaan osastojen välillä selvillä ja integrointi muihin järjestelmiin voidaan toteuttaa onnistuneesti. Tässä vaiheessa myös pilotti vaiheista saatuja kehityskohteita tulee huomioida ja ottaa varsinaiset järjestelmää käyttävät työntekijät mukaan järjestelmän kehittämiseen. Näin saadaan osallistutettua projektiin järjestelmää käyttävät työntekijät, mikä näin ollen vähentää muutosvastaisuutta. (Anisimov ja Reshetni-kov, 2011; Knight ja Lamb, 2006.)

Tämän jälkeen tapahtuu varsinainen järjestelmän implementointi, jolloin järjestelmä otetaan päivittäiseen käyttöön. Tässä vaiheessa järjestelmäkoulutukset tulisi olla pidettynä pääkäyttäjille ja järjestelmän toimivuus halutulla tavalla tulisi olla täysin testattu. Tässä kohtaa yrityksen johdon tulisi olla tietoinen ja tiedottaa kyseisistä järjestelmä muutoksista ja mahdollisista toimintatavan muutoksista. Järjestelmän kouluttamiseen tulisi panostaa niin, että kaikki käyttäjät osaavat käyttää järjestelmää. Tämä todennetaan erillisellä dokumentilla järjestelmän koulutuksesta. Viimeisenä vaiheena toimii järjestelmän optimointi ja jatkokehitys. Tässä vaiheessa järjestelmän tuloksia kerätään ja analysoidaan vastaako järjestelmä sille annettuja tavoitteita. Lisäksi järjestelmää optimoidaan saatujen tulosten perusteella paremmin tavoitetta ja tarpeita vastaavaksi. Tässä vaiheessa myös järjestelmän toimittajan kanssa yhteistyötä tiivistetään ja määritellään jatkokehitys tavoitteita järjestelmälle yhdessä järjestelmätoimittajan kanssa. (Anisimov ja Reshetnikov, 2011.)

2.3 Muutoksen johtaminen ja yhteisöllisyys

Uusien järjestelmien, ohjaustapojen ja mittausmenetelmien käyttöönotto aiheuttaa monenlaisia tunteita ja muutoksia työyhteisössä. Nämä muutokset on syytä tiedostaa jo etukäteen, vaikka niiden täyttä vaikutusta työyhteisöön on lähes mahdoton ennustaa. Muutoksia tehtäessä negatiivisia vaikutuksia työyhteisöön voidaan tutkitusti vähentää, jos työntekijät osallistuvat muutosten suunnitteluun ja saavat antaa mielipiteensä muutoksista. (Pahkin et al. 2011, s. 8–10.) Tässä alaluvussa käsitellään yhteisöllisyyttä ja miten työntekijöitä voidaan ottaa huomioon jo muutosprosessin aikaisessa vaiheessa.

2.3.1 Yhteisöllisyys ja osallistaminen

Organisaatioiden tavoitellessa parempaa tuloksellisuutta ja tehokkuutta on muutosten tekeminen välttämätöntä. Tämä vaatii henkilöstöltä ja johtamiselta enemmän joustavuutta sekä kykyä sopeutua uusiin tilanteisiin. Merkittävin muutos on ollut kehitys kohti tietoyhteiskuntaa, mikä merkitsee tarkempaa suunnitelmallisuutta ja kontrollia yksilöiden tekemisestä. Tehokkuuden parantamisella vastataan koventuneeseen kilpailutilanteeseen. Muutokset näkyvät kiireenä, työn vaatimustason koventumisena ja usein myös työilmapiirin huonontumisena työn kontrollin kasvamisen johdosta. (Eräsaari 2012, s. 87; Mamia 2007, s. 107, s. 122.)

Muutoksen toteuttaminen työyhteisössä on käytännössä aina haasteellinen. Muutokset tuovat usein mukanaan vastustusta. Työntekijöiden reaktiot muutoksiin vaihtelevat yksilötasolla. Osa voi nähdä toimintatapamuutokset positiivisina ja uusina haasteina, kun taas osa saattaa reagoida muutoksiin hyvinkin negatiivisesti. Johtajilla on näin ollen muutoksessa erityisen tärkeä rooli. Johtajan tulee selvittää työntekijöille muutoksen tarkoitus ja hyödyt, jotta muutosta voidaan käsitellä. Tämän toteutuksessa on avain asemassa, että työntekijöiden lähiesimiehet ovat tietoisia muutoksesta mahdollisimman laaja-alaisesti. Muutoksen käsittely vaikeutuu merkittävästi, jos lähiesimiehet eivät ole tietoisia kaikista muutoksen seurauksista, jolloin johtajatkin voivat kääntyä yhdessä työyhteisön kanssa muutosta vastaan. (Järvinen 2008, s. 143–153.)

Yhteisöllisyys on noussut viime vuosina voimakkaasti esille työelämän näkökulmasta. Lapin-leimu (1997) kirjoitti jo 90-luvun lopussa tuotannon ja tuotesuunnittelun yhteistoiminnasta ja sen kannattavuudesta. Tärkeitä yhteistoiminnan tekijöitä ovat kahden suuntainen kommunikaatio, informaatio, osallistuminen ja motivointi. Tämä pätee myös eri

organisaatioryhmien väliseen yhteistyöhön. Muutoksia tulee näin ollen suunnitella ja toteuttaa kaikkien osapuolien kanssa, joihin muutos vaikuttaa. Onnistunut muutos vaatiikin työntekijöiden osallistumisen muutoksen suunnitteluun, toteutukseen ja arviointiin. (Lapinleimu et al., 1997 s.275–277; Pahkin et al. 2011, s.10.)

Yhteisöllisyyden kokeminen on tärkeää työhyvinvoinnin ja työssä viihtymisen kannalta. Ilmapiiri, yhteistyö ja vuorovaikutus ovat yhteisöllisyyden saavuttamisessa tärkeimpiä tekijöitä. Nämä saavutetaan työyhteisössä luottamuksella, yhteistyöllä ja kommunikoinnilla. Yhteisöllisyyteen vaikuttavat myös työhön liittyvät tekijät, kuten hyvä perehdytys, hyvin suunnitellut ja selkeät työtehtävät, tiimityöskentely ja yhteiset tavoitteet. Yhteisöllisyys vaikuttaa positiivisesti yksilö- ja työyhteisötasolla ja se lisää työhön sitoutumista, työtyytyväisyyttä, työhyvinvointia, sekä työn laadun paranemista. Yhteisöllisyydellä on myös positiivisia vaikutuksia työntekijöiden yleiseen terveyteen, hyvinvointiin, oppimiseen ja tuloksellisuuteen. (Lampinen et al. 2013, s. 79–84, 198.)

Tuotannon digitalisaation tulee lähteä aina ylimmän johdon toimesta ja näiden suurien muutosten taakse tulee löytää osaava henkilökunta, joka lähtee viemään digitalisaatiota eteenpäin tuotantotasolle. Tuotannossa on tärkeää huomioida työntekijöiden mielipiteet ja asenteet uusia toimintatapoja sekä järjestelmiä kohtaan. Muutoksia tehdessä ja niitä hallitessa tuleekin työskennellä tiiviissä yhteistyössä tuotannon työntekijöiden kanssa, jotta voidaan rakentaa luottamusta ja ymmärrystä uutta järjestelmää kohtaan (Geissbauer et al. 2017). Muutoksen toteuttamisen onnistumiseen vaikuttaakin merkittävästi projektien yksilöllistäminen organisaation koon ja toimintatapojen mukaan (Netland, 2016).

2.3.2 Osallistava tutkimus

Tutkimuksen muotoja ja aineiston keräys menetelmiä on monia. Yksi yleisesti käytetty aineiston keräys tapa on kysely. Kyselyitä on strukturoimattomia ja strukturoituja. Strukturoimattomassa kyselyssä kysymys esitetään ja vastaus on kyselyyn vastaavan vapaasti kirjoitettavissa. Strukturoidussa kyselyssä vastaus vaihtoehdot ovat suoraan annettu vastaajalle. Kysymyksissä käytetään yleensä kolmea muotoa, jotka ovat avoimet kysymykset, monivalintakysymykset ja asteikoihin eli skaaloihin perustuva kysymystyyppi. Kysymyslomakkeilla voidaan kerätä tietoa tosiasioista, toiminnasta, tiedoista, arvoista, asenteista ja mielipiteistä. Kyselytutkimuksen etuna on laajan tutkimusryhmän käyttäminen ja näin ollen vastausten laajuus. Kyselytutkimuksen heikkouksina voidaan

nähdä epävarmuus vastausten paikkansa pitävyydestä, epävarmuus vastausvaihtoehtojen onnistuneisuudesta ja onko kysymykset ymmärretty yksi selitteisesti. (Hirsjärvi et al., 2007, s. 188–195.)

Toinen usein käytetty aineistonkeruumenetelmä on haastattelu. Haastattelun etu on siinä, että aineiston keruuta voidaan säädellä joustavasti tilanteen edellyttämällä tavalla. Haastattelussa saadaan laajempi konteksti, sillä haastattelijan asenteet ovat tulkittavissa haastateltaessa ja saatuja vastauksia voidaan selventää jatkokysymyksillä. Haastattelussa saadaan haastateltava täysin osallistuvaksi aiheeseen, jos haastattelu on toteutettu kahden keskeisenä kanssakäymisenä. Haastattelumuotoja ovat lomakehaastattelu eli strukturoitu haastattelu, teemahaastattelu ja avoin haastattelu. Haastattelun luotettavuutta saattaa heikentää haastateltavan tietoinen haastattelun ohjaaminen itseään hyödyttävään tai kiinnostavaan aiheeseen. (Hirsjärvi et al., 2007, s. 199–205.)

3. OSAVALMISTUKSEN NYKYTILANTEEN KARTOITTAMINEN JA KEHITYSTARPEET

Kokeellinen osuus suoritettiin työssä omana - ja vertailevana tutkimuksena. Luvussa 3.1 käsitellään omaa tutkimusta, joka käsittelee osavalmistuksen nykyistä tilannetta ja luku 3.1 käsittelee vertailevaa tutkimusta työn aikana tehdyn benchmarking vierailun pohjalta.

3.1 Osavalmistuksen nykyinen tilanne

Osavalmistuksen nykyinen tilanne selvitettiin suurilta osin havainnoinnin, avointen keskusteluiden ja järjestelmiin tutustumisen avulla. Tässä luvussa on esitelty merkittävimmät tutkimustulokset osavalmistuksen tuotannon toiminnasta työn kannalta. Nykytilan kartoittaminen on tärkeä osa työtä, joka luo pohjan oikeanlaisille kehitysehdotuksille. Ensimmäiseksi tutustuttiin tuotannonsuunnittelijoiden työtehtäviin. Tämä piti sisällään sen, miten tuotannonsuunnittelijat luovat tuotantotilauksen ja miten tuotannonsuunnittelijoiden toimesta kuormittaminen ja ajoittaminen tuotantoon tilauksille toteutuvat. Tämän jälkeen seurattiin työnjohtajan tehtäviä eli, minkä perusteella työnjohtaja jaottelee työmääräimet tuotantoon ja miten työnjohtaja ohjaa tuotantoa lattiatasolla. Tutustumisen yhteydessä harjoitettiin avointa haastattelua, josta kirjattiin merkittävimmät havainnot ylös. Tämän lisäksi tutustuttiin alihankinta vastaavan ja työnjohtajan tapoihin siirtää tuotantoa alihankintaan ylikuormitus tapauksissa. Muitakin sidosryhmiä kuunneltiin ja kirjattiin työn kannalta merkittävät havainnot.

Tämän jälkeen tutustuttiin osavalmistuksen työntekijöihin ja suoritettiin avoimet haastattelut jokaisen työntekijän kanssa. Näistäkin kirjattiin merkittävimmät havainnot talteen. Avointen haastattelujen tueksi laadittiin osavalmistukselle kyselylomakkeet kuormitusryhmäkohtaisesti, jotta saataisiin työntekijöiden näkemyksiä ja kokemuksia työpäivän kulkemisesta paremmin esille. Luotu kyselylomakepohja löytyy liitteistä A–I. Tätä ei ole listattu tutkimusmenetelmiin, koska kyselytutkimuksesta saatava tieto ei ollut validia ja näin ollen ei käyttökelpoista tutkimukseen. Lisäksi tutustuttiin yrityksen käytössä olevaan ERP (Enterprise Resource Planning) toiminnanohjausjärjestelmään ja miten eri osastot hyödynsivät järjestelmää. Järjestelmään tutustuttiin itsenäisesti tutkien järjestelmän käyttöohjeita ja käytännön työnä selvitettiin, mitä ominaisuuksia järjestelmästä voitaisiin vielä

hyödyntää tuotannonohjausta tukien. Lisäksi arvioitiin kohdeyrityksen jatkuvan parantamisen periaatteiden toteutumista osavalmistuksessa.

3.1.1 Osavalmistuksen laitteisto ja valmistettavat tuotteet

Osavalmistus voidaan jakaa neljään soluun, jotka ovat esivalmistus, hitsaus, koneistus ja maalaus. Esivalmistus solussa kuormitusryhmiä ovat polttopöytä, saha, levyleikkuri, särmäri ja porakone. Tämän lisäksi solussa sijaitsee levyvarasto, putkivarasto, ohutlevyvarasto ja hyllytilaa. Hitsaussolu kattaa hitsauksen keräilyn, kuusi hitsaus pistettä, hitsausrobotin ja hitsivaraston. Hitsauksen keräilyssä keräillään osat valmiiksi hitsauspisteille jaoteltavaksi, jotta hitsareiden aika ei kuluisi osien keräilyyn. Hitsaamo jaetaan hitsaus ja robottihitsaus kuormitusryhmiin. Koneistamosolu sijaitsee hitsausosaston vieressä, jossa toisella sivulla ovat Zayer pitkäjyrsin, joka on oma kuormitusryhmä. Toisena kuormitusryhmänä toimivat aarporat Union ja TOS. Toisella sivulla ovat manuaali- ja automaattisorvi, jotka käsitellään omana kuormitusryhmänä sekä koneistuskeskukset Leadwell ja Dahlin omana kuormitusryhmänään. Tämän lisäksi samalla sivulla sijaitsevat koneistamon välivarasto keskeneräisille tuotteille ja koneistamo-osaston puolella on myös maalaamoon menevien tuotteiden varasto. Neljäntenä soluna toimii maalaamo, josta voidaan erotella kuumavesi pesukoppi, teräsrae puhaltamo, maalaus, hauhduttamo ja uuni. Maalaamoa käsitellään pintakäsittely kuormitusryhmänä. Maalaamosta valmiit tuotteet menevät varastoitavaksi tai ne toimitetaan suoraan projekteille.

Ohjattavia kuormituspisteitä osavalmistuksessa on näin ollen 21 kappaletta ja kuormitusryhmiä 11 kappaletta. Osavalmistuksen layout on U-muotoinen solu layout. Layout palvelee suurilta osin osavalmistuksen tarpeita, sillä valmistusreittejä on hyvin paljon erilaisia. Kuormitusryhmiä ja laitteita käsitellessä tulee ottaa huomioon, että koneistuskeskukset Leadwell ja Dahlin ollaan korvaamassa kesän aikana uusilla koneistuskeskuksilla. Käsiteltäessä tässä työssä uusia koneistuskeskuksia tarkoittavat nämä keskukset Leadwellin ja Dahlinin korvaavia keskuksia. Alla on nähtävissä osavalmistuksen layout kuvassa 10, josta erotetaan esivalmistuksen, hitsauksen, koneistuksen ja maalaamon solut sekä laitteisto.

nykyinen ongelma leimauspisteiden vähäisyydellä ja pitkillä aikaa kuluttavilla siirtymillä, jos halutaan, että jokainen työ leimattaisiin paikkaansa pitävästi eli aloitus- ja lopetuskirjauksella. Hukka leimauksia tehdessä lisääntyy huomattavasti, jos leimauspisteellä käynnin aikana tuotannossa on esimerkiksi nosto käynnissä ja näin ollen leimauspisteelle pääsy vaikeutuu.

Kohdeyrityksen tuotteisto on hyvin vahvasti asiakasohjautuvaa ja yritys on erikoistunut projektiliiketoimintaan ja asiakasräätälöintiin. Projekteissa pyritään käyttämään vakio moduuleita, mutta projektien välillä esiintyy yleisesti paljon asiakasräätälöintiä. Tämä tarkoittaa sitä, että osavalmistuksen valmistus vaihtelee suuresti ja uusia nimikkeitä tulee jokaisessa projektissa. Tämä vaikeuttaa hyvin suuresti tuotannonohjausta, sillä uusille tuotteille läpimenoaikoja on lähes mahdoton määrittää tarkasti ja näin ollen tuotekehityksellä on suuri vaikutus tuotannon tehokkuuteen ja läpimenoaikoihin. Tuotekehityksessä ja tuotannonsuunnittelussa hyödynnetään olemassa olevia nimikkeitä aina mahdollisuuksien mukaan, jotta säästytään ylimääräiseltä työltä.

Osavalmistuksessa valmistettavia tuotteita ovat esimerkiksi teräspalkit, -levyt, -kiinnikkeet ja -holkit. Tuotteiden läpimenoajat vaihtelevat suuresti riippuen siitä, miten ne on suunniteltu ja kuinka tarkkoja toleransseja osilta vaaditaan. Läpimenoajat arvioidaan tuotannonsuunnittelun toimesta, joten työajat voidaan tuotteille laskea parhaiden arvioiden mukaan. Valmistettaessa vaativia tuotteita voi kuitenkin todelliset työajat vaihdella huomattavasti. Osavalmistus palvelee myös asennuspuolen työntekijöitä projektien aikana valmistamalla esimerkiksi tukipalkkeja, koehitsaus paloja ja erilaisia liitinlevyjä asennuspuolen henkilöille ilman erillistä tuotantotilauksia. Nämä valmistettavat työt eivät siis näy toiminnanohjausjärjestelmässä millään tavalla, eikä esimerkiksi tuotannonsuunnittelu ole tietoinen, minkä verran tällaisia osia osavalmistuksessa minäkin viikkona tehdään.

3.1.2 Osavalmistuksen tuotannonohjaus

Kohdeyrityksen karkeakuormitusta varten on Aton tietokannassa Excel, johon on karkeakuormitettu koko tuotanto viikkokohtaisella tasolla. Tämän Excelin avulla karkeakuormitetaan myös osavalmistusta viikkokohtaisesti. Karkeakuormitus Excel osaltaan määrittää, koska jokin osakokonaisuus tulisi olla tehtynä, ei miten ja missä järjestyksessä se tehdään. Osavalmistukseen on projektista varattu keskimäärin 6 viikkoa aikaa. Nykyisessä tilanteessa valmistusaika on kuitenkin kaventunut noin kolmeen viikkoon osavalmistuksen osalta. Tämä tarkoittaa sitä, että valmistuksen osalta tulee tehdä hyvin nopeita

päätöksiä. Mekaniikkasuunnittelun valmistuessa tuotannonsuunnittelijat saavat laitteiston tuoterakenteen, joiden nimikkeille laaditaan omat tuotantotilaukset. Tuotantotilauksissa määritellään osan tuottamiseen tarvittavat valmistusreitit ja liittykö kyseinen työ johonkin ylätyöhön esimerkiksi hitsattavaan kokoonpanoon. Tuotantotilauksesta tulostetaan jokaiselle osalle paperinen työmääräin, joka kertoo osan vaatiman valmistusreitin ja milloin tuote on suunniteltu valmistettavan kuormituspisteillä. Työmääräimen toisella puolella on työkuva valmistettavasta osasta, joka pitää sisällään osan kannalta oleelliset mitat ja tiedot tuotannolle.

Tuotannonsuunnittelijat ajoittavat töitä taaksepäin, mikä tarkoittaa sitä, että tuotannonsuunnittelijat laskevat tuotantotilauksen vaiheiden mukaan, millä viikolla tuotetilaus pitää tuotantoon laittaa. Osille on laskettu esivalmistukseen viikko, hitsaukseen viikko, koneistukseen viikko ja pintakäsittelyyn viikko. Näin ollen, jos työvaihe sisältää esimerkiksi polton, porauksen, särmäyksen, koneistuksen ja pintakäsittelyn, laitetaan se kolme viikkoa ennen tavoiteviikosta osavalmistuksen poltto työjonoon, jos taas aloitusvaihe on sahaus vie tuotannonsuunnittelu sen sahan viikkokohtaiseen työjonoon. Tuotantotilauksen ollessa ylätyö, jossa on esimerkiksi hitsaus ja koneistus, ajoitetaan se kaksi viikkoa ennen valmistusta ja jaotellaan erikseen hitsaukseen meneväksi tuotannonsuunnittelun toimesta.

Työt työntöohjataan esivalmistukseen työnjohtajan toimesta tuotannonsuunnittelijan määrittelemällä viikolla. Tämä tarkoittaa sitä, että työt viedään joko poltolle, sahalle tai levyleikkuriin, joka on yleensä ensimmäinen työvaihe. Jotkin suuremmat palkit ja levyt tilataan suoraan alihankinnasta, koska niitä ei pystytä osavalmistuksen koneilla valmistamaan. Hitsattavat ylätyöt työnjohtaja vie suoraan hitsaamon keräilyyn tuotannonsuunnittelijoiden määrittämällä viikolla. Tuotannossa osavalmistuksen töiden etenemisestä vastaa työnjohtaja, työntekijät ja hitsauksen keräilijä.

Työnjohtaja jakaa kaikki työt tuotantoon ja ohjaa töitä tuotannossa, mutta esivalmistuspuolella työt menevät hitsauksen keräilyyn asti työntekijöiden itse ohjaamina. Työnjohtaja ohjaa tarvittaessa sahaa, polttoja, porausta, leikkausta ja särmäystä erikseen, jos hitsauksen keräilijä huomaa joidenkin osien puuttuvan hitsauksen keräilystä. Joskus osat eivät mene hitsaukseen, jolloin työntekijöiden vievät osat itse koneistukseen tai maalaamoon. Esivalmistus tuottaa myös osia, jotka hitsataan, koneistetaan ja pintakäsittellään alihankinnassa. Tämänlaiset tilaukset tulostetaan vaaleanpunaiselle lapulle tuotannonsuunnittelijoiden toimesta, jotta hitsaamon keräilijä voi helposti havaita kyseisten osien lähtevän esivalmistusvaiheen jälkeen alihankintaan.

Hitsauksen keräilyssä keräilijä vastaa valmiiden keräilyjen keräämisestä lavoille ja työnjohtaja päättää kenelle mikäkin työ ohjataan. Isoimpia alihankinnasta saapuvia osia ei aina hitsareille kerätä vaan isoimmat osat pidetään välivarastossa hitsaamon keskellä, josta hitsaajat ne itse nostavat hitsattavaksi. Tähän voi mennä paljonkin aikaa, jos hitsaajien tarvitsemat palkit ovat toimituksen alimaisena, jolloin muut palkit pitää ensin siirtää pois päältä ennen kuin saadaan tarvittava osa hitsaukseen. Valmiiksi hitsatuista osista vastaa hitsaamon keräilijä, joka vie osat koneistamoon, maalaamoon tai asennuspuolelle.

Koneistusosastolla osat viedään koneistajille valmiiksi, joko koneen viereen tai koneistuksen välivarastoon riippuen tilasta koneen läheisyydessä. Koneistamolle työt jakaa työnjohtaja konekohtaisiin lokeroihin tai vie työt suoraan koneistajille. Jossain tapauksissa koneistamo on itseohjautuva, jos osissa on esimerkiksi sorvausta ja jysintää, jolloin käytetään ensin sorvia ja sitten koneistuskeskusta. Tällöin sorvaaja vie suoraan osan koneistuskeskukseen. Hitsaamon keräilijä tai työnjohtaja vastaa yleisesti valmiiksi koneistettujen kappaleiden toimituksesta eteenpäin esimerkiksi maalaamon välivarastoon tai hitsaamoon. Maalaamon työt työnjohtaja jakaa päiväkohtaisesti viikko kerrallaan pintakäsittelijöille, jotka tuotteen valmistuttua leimaavat työn valmiiksi. Tämän jälkeen työ siirretään varastoon tai suoraan asennuspuolelle.

Osavalmistuksen tuotannonohjaus perustuu työnjohtajan ohjaukseen ja itseohjautuvaan tuotantoon. Työmääräimissä on näkyvillä suunniteltu valmistumispäivä, mutta käytännössä ne eivät pidä täysin paikkansa ja niitä ei täysin noudateta. Työnjohtaja ohjaa kiire tilanteissa töitä enemmänkin jälkikäteen saadun prioriteettijärjestyksen mukaan, eikä suunnitellun aloituspäivän tai valmistumispäivän mukaan. Kiireellisimmät tilaukset tuotannonsuunnittelijat tulostavat keltaisille lapuille ja tiedottavat erikseen työnjohtajaa kiireellisistä tilauksista, jolloin työnjohtaja tietää tuotannossa vievän kyseisiä töitä tavallista nopeammin eteenpäin. Kiireelliset tilaukset voivat johtua puuttuvasta osasta, tuotteen muutoksesta tai esimerkiksi varaosatoimituksesta. Lisäksi kokoonpanopuolesta vastaava työnjohtaja toimittaa osavalmistuksen työnjohtajalle tarvittaessa listan valmistamattomista osista, jotka tarvitaan kiireellisesti kokoonpano projektilla. Tällaiset työt työnjohtaja myös vie tavallista nopeammin tuotannossa eteenpäin.

3.1.3 Osavalmistuksen kapasiteetin hallinta

Edellisessä luvussa mainittu karkeakuormitus Excel luo ensisijaisen kapasiteetin tarpeen osavalmistukselle. Käytännössä kun tuotesuunnittelijat ovat tehneet suunnitelmansa, pidetään operatiivisen johtajan, osavalmistuksen työnjohtajan ja alihankinta vastaavan toimesta palaveri. Palaverissa käydään läpi, kuinka paljon projekti kuormittaa tuotantoa ja riittääkö omassa tuotannossa kapasiteettia vai käytetäänkö alihankintaa osien valmistamiseen. Tässäkin tapauksessa osavalmistuksen työnjohtaja kertoo kapasiteetin tilanteen oman näkemyksensä pohjalta ja yleisesti alihankinta vastaava on jo etukäteen kysynyt alihankkijoilta mahdollisia toimitusaikatauluja ja tarjouksia, jos tuotannon jonkintasoisen ylikuormittuminen on tiedossa.

Hienokuormitus vaiheessa, kun on päätetty mitkä työt tehdään osavalmistuksessa, kapasiteettia hallitsee osavalmistuksen työnjohtaja. Jos kapasiteettiin tulee yllättäviä muutoksia esimerkiksi poissaoloja, paljon työmääräimetöntä kiireellistä kuormaa tai paljon suunniteltua enemmän aikaa vieviä työvaiheita, pyrkii työnjohtaja saamaan lisää kapasiteettia ensin omasta tuotannosta. Tämä toteutetaan ylityöillä tai tarvittaessa hyödyntämällä tuotannon työntekijöiden moni osaamista. Pahimmillaan työnjohtaja joutuu siirtämään lisää omaa tuotantoa kiireellä alihankinnalle valmistettavaksi tai ilmoittamaan, että jotkin osat tulevat myöhästymään valmistusaikataulusta. Työnjohtaja myös informoi tuotannonsuunnittelua työkuormasta säännöllisin väliajoin.

Operatiivinen johtaja, alihankinta vastaava ja osavalmistuksen työnjohtaja pitävät tämän lisäksi säännöllisesti kaksi kertaa viikossa palaverin, jossa käydään läpi osavalmistuksen tilannetta ja kiireellisiä töitä. Tämän lisäksi käydään läpi, mitä osia on alihankinnassa ja tulevatko ne vielä kuormittamaan omaa osavalmistusta, esimerkiksi pintakäsittelyn osalta. Tässä palaverissa pohjana käytetään karkeakuormitus Exceliä, kokoonpanopuolen kiireellisyysjärjestystä ja projekteilta puuttuvien osien listoja. Nykyään ongelmana on, että tuotantoa hienokuormitetaan projektien mukaan karkeakuormitus Excelissä. Kyseinen Excel on tarkoitettu olevan vain karkeakuormitusta varten ja on näin ollen hienokuormitus suunnittelua varten hyvin kankea. Lisäksi Excel ei ota millään tavalla huomioon osavalmistuksen kuormitustilannetta. Projektit ovat kuitenkin hyvin laajoja kokonaisuuksia, jolloin joidenkin osien tapauksessa saattaa niiden oikea tarve kokoonpanopuolella olla vasta kolmen viikon päästä suunnittelusta osan valmistumisesta. Tämän takia yleistä osavalmistuksessa on, että tuotannossa valmistetaan töitä moneksi viikoksi varastoon. Tällöin joku muu projekti saattaa viivästyä, koska varastoon valmistetut työt valmistettiin ennen toiselle projektille tarvittavia osia. Tämä johtuu siitä, että tuotannossa toimitaan

vain karkeakuormitus Excelin varassa. Kokoonpanopuolella ei näin ollen laadita mitään tuotantosuunnitelmaa erikseen. Kokoonpanopuolen työnjohtaja käy erikseen läpi tiiminvetäjien kanssa viikkosuunnitelmat, mutta tätä ei mihinkään kirjata. Työsuunnitelmat kokoonpanossa muuttuvat myös työnjohtajan mukaan niin usein, että tuotantosuunnitelman ylläpito kävisi hyvin raskaaksi.

3.1.4 Osavalmistuksen mitattavuus

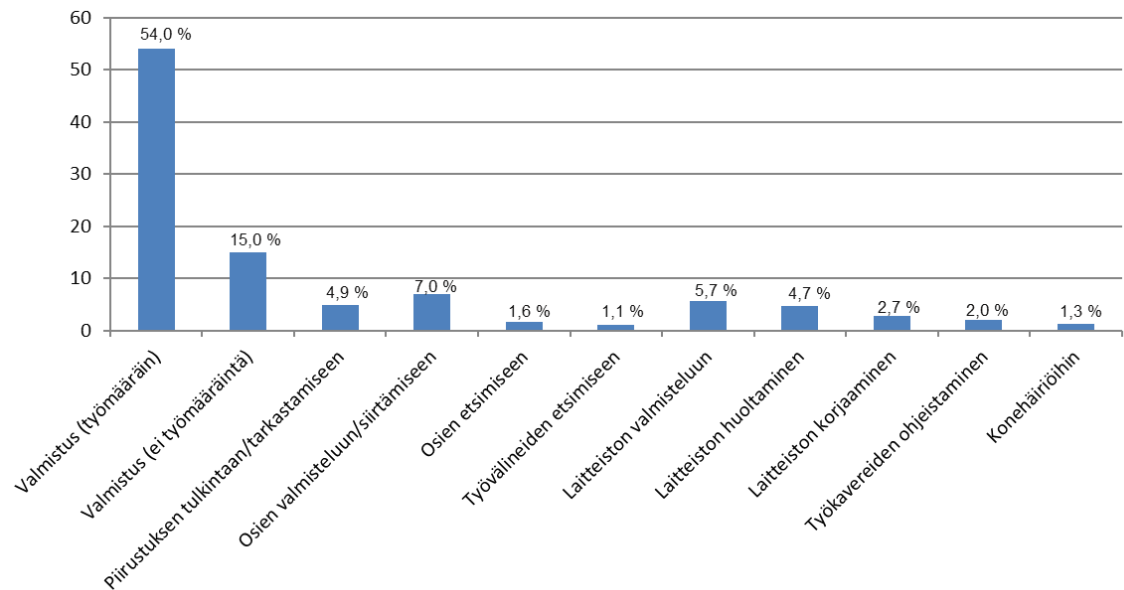
Osavalmistuksesta kerätään hyvin vähänlaisesti tuotantodataa. Polttokone on yhdistetty tuotannonverkkoon ja se tuottaa tietoa koneen käyttöasteesta ja poltetuista levyistä. Käytännössä muista kuormituspisteistä saadaan tietoa vain työmääräinten leimauksien mukaan. Työmääräimet sisältävät viivakoodin jokaiselle vaiheelle erikseen. Viivakoodilukijoita on yksi osavalmistuksessa, yksi hitsaamossa, yksi koneistamossa ja yksi pintakäsittelyssä. Esivalmistuksen ja pintakäsittelyn työntekijät eivät kirjaa erikseen töitä aloitetuksi, vaan työt kirjataan vain päätyneeksi eli erillistä ajanseurantaa ei tapahdu. Hitsauksessa ja koneistamossa työntekijöitä on ohjeistettu aloittamaan työt ja päättämään työt. Käytännössä tämä ei kuitenkaan aina toteudu, sillä joskus leimaukset unohdetaan tai työvaiheet ovat niin lyhyitä, että ne leimataan kerralla kaikki päätyneeksi, jolloin tunteja ei töille kerry.

Tämä tekee käytännössä todellisen työkuorman hallitsemisesta mahdotonta, kun ei tiedetä, kuinka paljon eri työvaiheisiin aikaa kuluu ja kuinka paikkansapitävät mahdolliset saadut kirjatut läpimenoajat ovat. Tämän lisäksi työjonojenkin hallinta järjestelmän kautta on mahdotonta, jos leimaukset eivät ole todenmukaisia ja niitä unohdellaan. Kokoonpanopuolen työnjohtaja tarkastaa valmistuneita osia erillisen varastonhallinta järjestelmän kautta, joka käytännössä kertoo vain, onko osa valmis vai ei. Varastonohjaus järjestelmä ei voi tietää missä vaiheessa osavalmistusta kyseinen osa on, vaan tämä pitää erikseen osavalmistuksen työnjohtajalta kysyä.

Operatiivinen johtaja pitää kerran viikossa osavalmistukselle tuotannon tilanne palaverin, jossa käydään läpi tuotannon kuormitustilannetta tilauksien muodossa, tiedotetaan tuotantoon liittyviä asioita ja käydään läpi muita pinnalle nousseita asioita. Osavalmistuksen tuloksia ei käytännössä erikseen seurata, vaan tuotannon mittareina toimivat yleisesti projektien kustannustulokset ja onko tavoiteltu liikevaihto saavutettu. Tämä kattaa koko yksikön toiminnan, eikä yksittäin osavalmistusta. Mittareiden luomista vaikeuttaa jo monesti todetut työmääräimettömät työt, joiden suoranaista vaikutusta tuotannon työkuormaan on vaikeaa arvioida.

Osavalmistuksen nykytilankartoituksessa nähtiin tarpeelliseksi selvittää työntekijöiltä, miten työpäivä jakautuu keskimäärin eri toimintoihin. Kyselylomake pohjat ovat nähtävissä liitteissä A–E. Jokaiselle kuormitusryhmälle kohdennettiin oma kyselylomake, jossa oli avoimien haastatteluiden avulla määritellyt tekijät, mihin työntekijöillä menee oletettavasti aikaa työpäivän aikana. Kyselylomakkeisiin lisättiin myös kohta, johon työntekijät pystyivät itse määrittämään vaiheen, jossa menee aikaa siltä varalta, ettei asia ole mainittuna kyselylomakkeessa. Kyselylomakkeen avulla haluttiin myös selvittää, kuinka paljon työmääräimettömiä töitä tehdään tuotannossa. Työntekijöitä pyydettiin prosentilla tai tunti tasolla määrittelemään kuluvat ajat, jonka mukaan otettiin prosentuaalinen osuus jokaiselta työntekijältä. Nämä tulokset laskettiin siten yhteen, että saatiin jokaiselle kuormitusryhmälle kumulatiivinen keskiarvo.

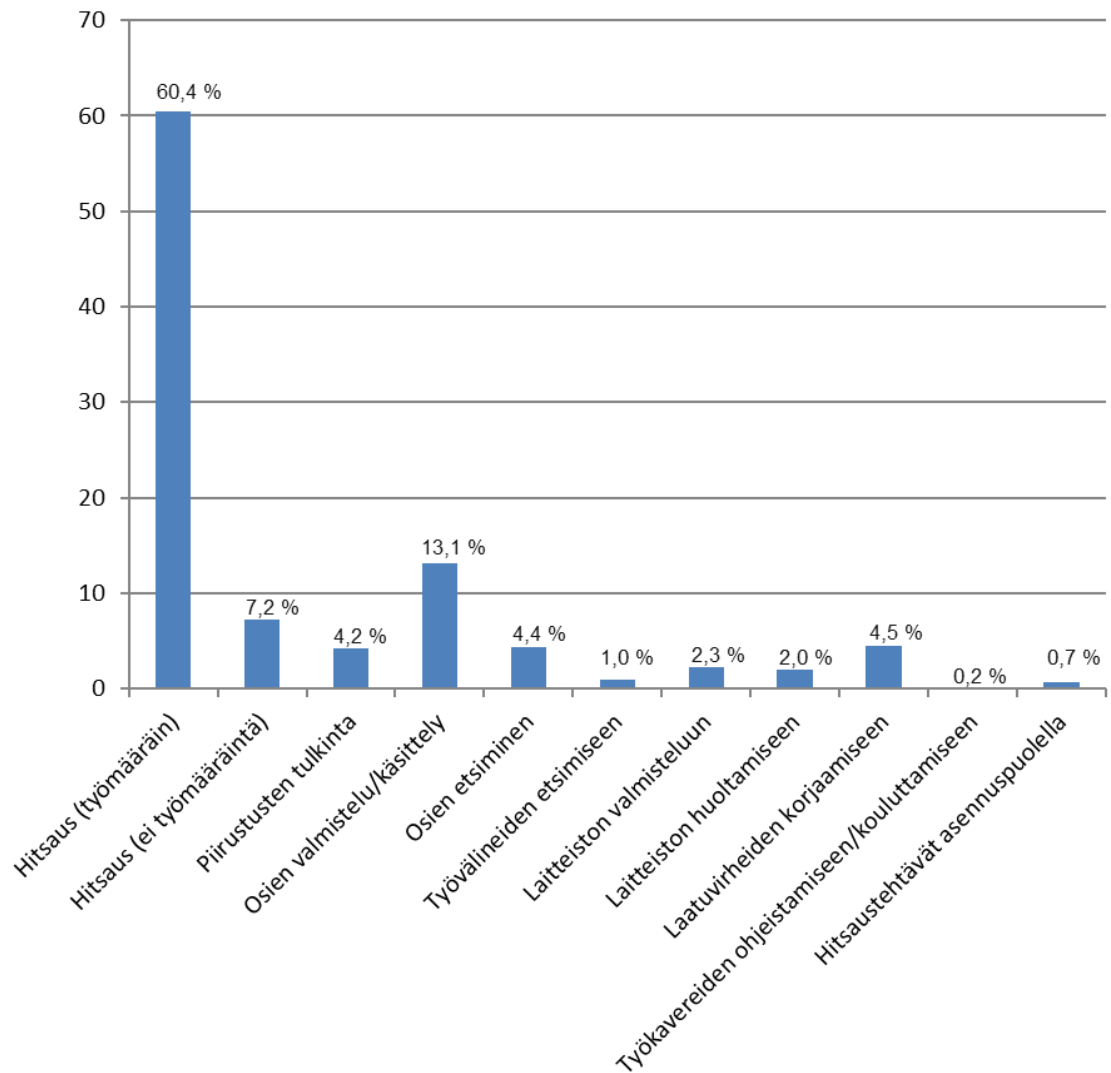
Kyselylomakkeen tuloksia ei työssä esitellä hitsauksen keräilijän ja pintakäsittelyn osalta vastausjoukon ollessa hyvin pieni. Esivalmistuksen vastaukset yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi, jotta anonyymisyys säilyi tutkimuksen tuloksissa. Esivalmistelun työvaiheita voi tarkastella samanlaisten toimintojen kautta, joten tämä tuki vastauksien yhdistämistä. Esivalmistuksen tutkimustulokset ovat nähtävissä alla kuvassa 11. Pystyakselilla on esiteltynä prosentit (%) ja vaaka-akselilla toiminnon kuvaus. Kyselylomakkeen tutkimus jäi kuitenkin loppujen lopuksi hyvin hyödyttömäksi, koska kyselylomakkeen rakennetta ja esittelyä ei oltu suunniteltu hyvin, jolloin jouduttiin toteamaan tutkimuksen tulokset epävalideiksi. Tässä tutkimuksessa saatiin näin ollen työntekijöiden kokemuksia ja arvioita mihin työaika kuluu. Yksinään kyselyn tuloksia ei voi näin ollen käyttää, vaan ne toimivat korkeintaan suuntaa antavina kokemuksina työntekijöiden työajasta.



Kuva 11: Esivalmistuksen kyselyn tulokset

Kokemuksen mukaan noin viides osa valmistamisen ajasta menee työmääräimettömiin töihin. Tämä on merkittävä tekijä työn suunnittelun ja kapasiteetin hallinnan kannalta, jos se pitää paikkansa. Kokemuksen pohjalta päädyttiinkin tukkimiehen kirjanpidolla toteutettuun työmääräimettömien töiden selvittämiseen yhdellä kuormituspisteistä. Kuormituspisteellä laskettiin kahden viikon ajanjaksona olevan noin seitsemäsosa töistä työmääräimettömiä töitä. Kyselyn läpikäymisessä tuotannossa merkittävin kehityskohde osavalmistelussa olikin juuri näiden työmääräimettömien töiden hallinta ja niiden liittäminen osaksi suunnittelua.

Hitsauksessa vastaus saatiin kaikilta kuudelta hitsarilta. Hitsauksen tutkimustulokset on esitelty alla kuvassa 12.

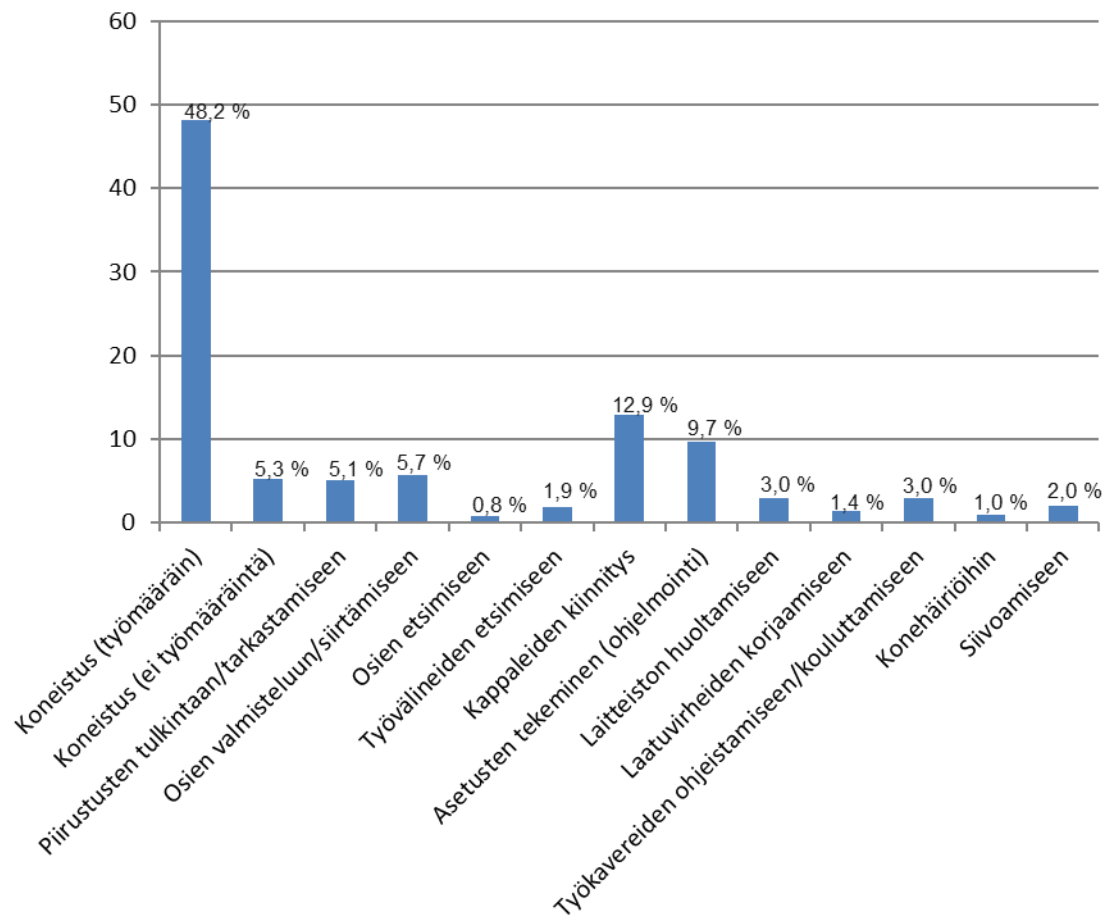


Kuva 12: Hitsauksen kyselyn tulokset

Hitsauksessa menee kokemusten perusteella keskimäärin yhdeksäsosa aikaa työmääräimettömien töiden valmistamiseen. Kokemuksen mukaan osien valmisteluun/käsittelyyn menee tutkimuksen mukaan noin 13,1 % ajasta, joka otettiin kehityskohteeksi. Tämän lisäksi laatuvirheiden korjaamista (4,5 %) ja osien etsimisen (4,4 %) vähentäminen otettiin seurantaan ja kehityskohteeksi, koska hitsauksen halutaan toimivan mahdollisimman tehokkaasti ja laatuvirheet pyritään minimoimaan. Tästä päästiin tutkimaan enemmän sitä, miksi osia joudutaan valmistelevaan kokemuksen mukaan suuri osa tuottavasta ajasta. Laatuvirheistä ja osien etsimisestä ohjeistettiin aina ilmoittamaan työnjohtajalle, jotta saatiin todellisia tuloksia laatuvirheiden ja osien etsimisen määrästä.

Osien valmistelu ja käsittely sekä raportoitujen laatuvirheiden korjaaminen johtui suurilta osin oman polttokoneen vaihtelevasta laadusta plasmalla polttaessa. Polttokoneen suuttimien kuluessa saattaa metallin pintaan jäädä niin sanottua metallipursetta, joka täytyy poistaa ennen hitsausta. Toisinaan plasmalla leikatessa vaativia muotoja polttojälki jää huonoksi, jolloin joudutaan osia hiomaan ennen kuin ne voidaan liittää hitsaamalla yhteen. Tämän lisäksi alihankinnasta tulevassa levytavarassa on aika ajoin mittavirheitä. Osien etsiminen nähtiin taas johtuvan valmistamattomista tuotteista tai puutteellisista keräilylavoista.

Koneistuksen tutkimukseen vastasi yhdeksän koneistajaa kuudelta eri kuormituspiisteeltä eli kaikki koneistajat vastasivat kyselyyn. Koneistuksen tutkimustulokset ovat nähtävissä alla kuvassa 13.



Kuva 13: Koneistuksen kyselyn tulokset

Koneistuksessa kokemuksen mukaan kymmenesosa valmistamisajasta menee työmääräimettömien töiden valmistamiseen. Koneistuksen kohdalla merkittävimmit kehityskohteiksi otettiin kappaleiden kiinnittämiseen (12,9 %) ja asetusten tekemiseen (9,7 %)

kuluvan ajan osuuden vähentäminen. Nämä kehityskohteet olisi voitu ottaa esille ilman tutkimustakin, mutta tutkimus tuki käsitystä näiden vähentämisen tarpeesta. Tulosten pohjalta käytyjen keskusteluiden mukaan konestamossa nähtiin kappaleiden kiinnittämisen kuluvan ajan vähentäminen mahdollisena, jos tuotesuunnittelu suunnittelisi kappaleita koneistettavuuden mukaan. Lisäksi asetusten tekemistä pystyttäisiin keskustelujen mukaan vähentämään, jos piirustuksien vanhempia versioita pystyttäisiin jäljittämään.

Niin kuin edellä mainittiin, kyselyn tuloksia ei voida pitää luotettavina, koska vaihtelua tapahtuu paljon ja työntekijän oma näkemys ja suhtautuminen kyselyyn vaikuttavat vastauksiin. Kyselyä pidettiin kuitenkin parhaana tapana selvittää nykytilannetta tuotannossa ja tunnistaa tehostamisen mahdollisuuksia. Kyselyn pohjalta saatiin myös hyvää keskustelua aikaa eri valmistusosastojen tarpeista ja näkemyksistä tuotannon kehittämiseen liittyen. Kyselyn muodostamisessa kuitenkin olisi ollut paljonkin parannettavaa. Kyselyllä pystyttiin alustavasti kartoittamaan tulevaisuudessa mitattavia muuttujia. Kyselyn avulla saadut kokemukset toimivat mahdollisesti tulevaisuuden tavoitteina, jos käyttöastetta lähdetään mittaamaan ja parantamaan jatkossa, sillä käyttöaste tasot ovat tulleet työntekijöiltä itseltään, eikä ulkopuolisen tekijän määrittämänä.

3.1.5 Osavalmistuksen jatkuva parantaminen

Osavalmistuksen jatkuvan parantamisen tueksi on hankittu Hoksu raportointijärjestelmä. Järjestelmään on tarkoitus raportoida kaikki tuotannossa tapahtuvat poikkeamat. Järjestelmä on käytössä vain toimihenkilöillä ja työnjohtajilla. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotannon poikkeamista tulee raportoida ensin osavalmistuksen työnjohtajalle, joka sitten kirjaa poikkeaman järjestelmään. Tuotannon avoimissa haastatteluissa kävi kuitenkin ilmi, ettei läheskään kaikista poikkeamista ilmoiteta, vaan yleensä poikkeamat ratkaistaan, eikä korjauksista jää tietoa mihinkään. Tämä aiheuttaa sen, että poikkeamien juurisyyt jäävät useimmiten korjaamatta, jolloin poikkeamat toistuvat jatkuvasti tuotannossa. Arvioltaan 90% poikkeama raporteista tulee työkuvien puutteellisista mittauksista. Oman tuotannon osien laatuongelmista raportoidaan huomattavasti vähemmän, vaikka työntekijät kappaleiden laatuongelmista mainitsivatkin.

Tuotannon lattiataason visualisointi perustuu työmääräimien värikoodaamiseen. Ongelmana värikoodaamisessa on visualisoinnin kankeus. Työmääräimen tulostamisen jälkeen tehdyt muutokset esimerkiksi alihankintaan siirtämisessä, eivät luonnollisesti ole paikkaansa pitäviä enää tuotannossa värikoodinsa osalta. Tällöin työmääräimeen kirjotetaan vain työn siirtyvän alihankintaan, jolloin sen visuaalinen ohjaaminen ei toteudu.

Tuotannossa on erikseen määritellyt välivarastot ja hitsauksen keräily, mutta itse työpis-teillä ei lavapaikkoja ole. Töiden siirtymisessä ei näin ollen ole selkeää visuaalisuutta, mikä vaikeuttaa varsinkin esivalmistuksessa keräilyä, kun osia joutuu hakemaan koko esivalmistuksen alueelta. Lisäksi lavapaikkoja ei ole ja siten alihankinnasta saapuvat osat jätetään vain johonkin osavalmistukseen sen mukaan, missä on tilaa. Tämäkin vai-keuttaa hitsauksen keräilyä etsimisen lisääntyessä selkeiden lavapaikkojen ja proses-sien puuttuessa osavalmistuksesta. Tämä heijastuu myös edellisessä luvussa esitettyyn hitsauksen kokemuksiin, josta huomataan osien etsimisen olevan kokemuksen perus-teella noin 4,5 prosenttia koko päivän työajasta, kun tämän pitäisi olla nolla prosenttia.

Jatkuvaa parantamista on myös harjoitettu seuraamalla polttokoneen käyttöastetta. Polt-tokoneen käyttöasteen seuranta perustuu mahdollisimman suureen käyttöasteeseen. Tämä tarkoittaa, että levyt pyritään saamaan mahdollisimman täyteen ja poltettua ker-ralla koko levy, jolloin saadaan pitkiä sarjoja ja resurssitehokkuus kasvamaan. Tämä kuitenkin luo ylituotantoa osavalmistukseen, koska polttokoneella työjonot perustuvat sa-moihin materiaalipaksuuksiin, eikä suoraan siihen mitä osaa seuraavaksi tarvitaan. Polt-tokoneen käyttöasteen seuraaminen ja kasvattaminen voidaan näin ollen nähdä tuotan-non tehokkuutta laskevana tekijänä, koska keskeneräinen tuotanto kasvaa ja tämä ai-heuttaa osaltaan osien tarpeetonta siirtelyä ja varastointia. Resurssitehokkuuden kas-vattaminen olisi oleellista tuotannon pullonkaulassa, joka määrittää tuotannon tehokkuu-den eikä tässä tapauksessa esivalmistus, jonka tarkoituksena on palvella pullonkaulaa. Pullonkaulana tuotannossa pidettiin avointen haastatteluiden mukaan hitsausta. Tätä tu-kee se, että alihankinta ostorivejä on eniten alihankinta hitsauksen osalta. Tämän lisäksi havainnointi tuki käsitystä hitsauksen toimivan osavalmistuksen pullonkaulana. Konk-reettisella ja validilla mittaustiedolla ei kuitenkaan voida osoittaa hitsauksen toimimista pullonkaulana osavalmistuksessa. Huomioon tulee ottaa esimerkiksi, että ennen koneis-tusta keskeneräistä tuotantoa esiintyy myös paljon, vaikka koneistuksessaakin hyödyn-netään usein alihankintaa. Tämän pohjalta keskityttiinkin kehittämään työssä hitsauksen ja koneistuksen resurssitehokkuuden kasvattamista, jotta mahdollisten pullonkaulojen resurssitehokkuutta ja näin ollen koko osavalmistuksen tehokkuutta voitaisiin parantaa.

3.2 Vertaileva tutkimus

Vertailevassa tutkimuksessa hyödynnettiin yritysvierailua toisessa valmistavan yrityksen tuotannossa. Kyseinen yritys on saanut tunnustusta tehtaansa korkeasta digitaalisuus asteesta, jonka perusteella se valikoitui vertailtavaksi yritykseksi teollisen tuotannon messuilta.

3.2.1 Benchmarking tuotannon digitaalisuudesta

Benchmarking yrityksessä hyödynnetään erilaisia teollisen internetin IoT ratkaisut, joiden avulla voidaan luoda virtuaalista monitorointia tuotannon jokaisesta osa-alueesta. Tähän tuotannon digitalisointiin tutustuttiin tehdaskierroksen ja järjestelmä esittelyjen muodossa. Tehdaskierros määritteli lopulta paljon tämän työn suuntaa siltä osin, että mitä osavalmistuksessa halutaan mittaroida ja seurata, mitä tämä käytännössä vaatii sekä, mitä etuja tällä voidaan saada tuotannonohjauksen ja tehokkuuden näkökulmasta.

Yritysvierailu alkoi yleisellä esityksellä yrityksen toiminnasta ja tästä päästiin yrityksen valmistamaan tuotteistoon, joka oli hyvin laaja. Tämä oli tärkeä kriteeri valittaessa vertailtavaa kohdetta, sillä se vastasi osaltaan myös kohdeyrityksen tuotantomuotoa ja tuotteistoa. Tuotanto benchmarking yrityksessä on ohjaustavaltaan varasto-ohjautuvan ja tilausohjautuvan tuotannon sekoitus ja valmistettavat sarjat ovat maksimissaan viisi kappaletta. Itse tuotannonohjaukseen lattiatasolla päästiin tutustumaan tehdaskierroksen muodossa, jossa käytiin läpi eri rajapintojen välisiä integrointeja ja miten esimerkiksi FMS-järjestelmä pystyi kommunikoimaan ERP-järjestelmän kanssa.

Tuotantokoneiden käyttöastetta seurattiin vertailtavassa yrityksessä teollisen IoT:n avulla ja työjonot olivat jokaisen operaattorin nähtävissä. He pystyivät itse vaikuttamaan ja suunnittelemaan omaa työtänsä sekä hienokuormittamaan työpisteitä tiettyjen rajoitusten mukaan. Tämä loi läpinäkyvyyttä tuotantoon ja myös itseohjattavuutta tuotannon toimintaan. Tuotannossa pidettiin myös jokapäiväinen tuotantopalaveri soluittain. Näissä palavereissa käytiin läpi tuotannon poikkeamia ja osa puutteita, jotta puutteisiin pystyttäisiin reagoimaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja poikkeamien syitä pystyttäisiin tuoreeltaan selvittämään.

Benchmarkingista saatiin hyviä näkemyksiä ja vertailukohtia, miten tuotannonohjausta tehdään hyvin älykkäässä ja itseohjautuvassa tehtaassa sekä, miten tuotannosta saatavia mittaus tuloksia voitaisiin hyödyntää tuotannonkehittämisessä. Benchmarkingiin suhtauduttiin siltä osin varauksella, että tiedostettiin vertailtavan yrityksen valmistettavien nimikkeiden olevan joltakin osilta standardoituja, jolloin uusia valmistettavia tuotteita ei kovin usein tuotantoon tule. Täysin asiakasohjautuvassa tuotannossa, jossa tuotteistoa räätälöidään asiakkaille, ei voida päästä esimerkiksi työkalujen hallinnan osalta yhtä tarkkaan hallinnan tasoon kuin benchmarking yrityksessä.

Selkeäksi suunnaksi tuli kuitenkin benchmarkingin pohjalta se, että osavalmistuksesta halutaan saada paikkansapitävää dataa kuormituspisteistä ja prosessin vaiheista. Tämän avulla voidaan seurata koneiden käyttöasteita ja selvittää näin ollen tuotannossa tapahtuvia poikkeamia tehokkaammin. Tämän lisäksi läpinäkyvyyttä tuotannossa haluttiin paremmalle tasolle niin, että tuotannon työtilanne olisi selkeästi näkyvissä tuotannon-suunnittelijoille ja työjonot pystyttäisiin esittämään myös tuotannossa kuormituspisteille. Näille kokeellisen osuuden määrittämille kehityskohteille esitetään ratkaisuja työn seuraavassa osuudessa.

4. OSAVALMISTUKSEN TUOTANNON KEHITTÄMINEN

Tuotannon kehittämisen tavoitteet hahmottuivat osavalmistuksessa nykytilanteen kartoituksen perusteella. Tuotannonohjauksen osalta selkeimmäksi tavoitteeksi asetui tuotannonohjaus tavan kehitys niin, että keskeneräisiä varastoja ja läpimenoaikoja saataisiin vähennettyä. Lisäksi lattiatason läpinäkyvyyttä haluttiin huomattavasti paremmaksi, jotta tuotantoa pystyttäisiin suunnittelemaan reaaliaikaisen tuotantotilanteen mukaan. Mitattavuuden osalta päädyttiin tutkimaan koneistuksen ja hitsausrobotin mitattavuuden ja seurannan mahdollisuuksia, koska näiden koneiden käyttöasteet halutaan pitää mahdollisimman korkeina. Lisäksi haluttiin luoda selkeät tunnusluvut jokaiselle osastolle. Tuotannon tehostamisessa keskityttiin parantamaan pullonkaulan eli hitsauksen tehokkuutta. Myös koneistuksen tehokkuuden kasvattamisen mahdollisuuksia tutkittiin. Mitattavuus ja tehostaminen tukevat tässä tilanteessa toisiaan niiden keskittyessä samoihin kuormitusryhmiin. Hukkien osalta pyritään vähentämään ylituotantoa ja sitä kautta tarpeetonta kuljetteluja, varastointia ja liikkumista. Järjestelmien osalta keskityttiin tutustumaan soveltuviin MES-järjestelmiin. Järjestelmä ratkaisut rajattiin työn osalta aloitusvaiheeseen, järjestelmien analysointiin, järjestelmien tavoitteiden asettamiseen ja suunnitteluvaiheeseen.

4.1 Tuotannonohjauksen kehittäminen

Tuotannonohjauksen kehittämisessä tukeuduttiin kirjallisuuskatsaukseen. Kirjallisuutta lähdettiin selvittämään tuotannon karkeakuormittamisen ja hienokuormittamisen perusteella sekä tutustuttiin kirjallisuudessa esitettyihin tuotannonohjauksen periaatteisiin ja lattiatason ohjaukseen. Tähän lukeutui Leanissa esitelty imuohjaus, joka on ennenkin ollut kohdeyrityksen osavalmistuksessa lopputyön aiheena. Lopputyössään Multanen (2016) kertoi imuohjauksen olevan mahdotonta toteuttaa tuotantoon, jossa on paljon variaatiota (Multanen, 2016). Tämä pitääkin osaltaan paikkansa, mutta tuotannon keskeneräisen tuotannon määrän perusteella on tuotantoon kehitettävä ohjausmenetelmä, joka valmistaa tuotteita joltain osin tarpeen mukaan, eikä vain työntöohjattuna osavalmistukseen. Tämän pohjalta tutustuttiin enemmän asiakasohjautuvan valmistuksen tuotannonohjaus tapoihin. Yksi käytetty menetelmä asiakasohjautuvassa tuotannossa kirjallisuuden mukaan on kapeikko-ohjaus, johon tutustuttiin paremmin teoriaosuudessa.

Kapeikko-ohjaus päätyikin lopulta hyvin soveltuvaksi ohjaustavaksi osavalmistuksen tuotantoon. Tuotannon kapasiteetin hallittavuuden kannalta osavalmistuksen kesken-eräisen tuotannon tulisi olla mahdollisimman vähäistä, jolloin kapeikko-ohjauksen tuotannon rajoittaminen on tehokas keino hallittavuuden parantamiseen. Työssä yksi tavoitteista oli osavalmistuksen pullonkaulan selvittäminen, joka kapeikko-ohjauksessa toimii tuotannon ohjauspisteenä. Tämä ohjauspiste määriteltiin työn nykytilan kartoituksessa hitsaukseen, joten käytettäväksi ohjauspisteeksi määriteltiin hitsauksen kuormitusryhmät. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että hitsauksen kuormitusryhmät määriteltiin Powerediin, jotka ovat hitsaus ja robottihitsaus. Näille kuormituspisteille suunnitellaan työjonot Poweredissa ja määritellään hitsausajat kappaleille. Näin saadaan hallittavat työjonot hitsaukselle, joita ei ole liian raskas päivittää Poweredin ERP-järjestelmällä. Hitsauksen työjonot toimivat ohjaavana tekijänä esivalmistuksessa ja esivalmistuksen koneiden työjonot rakentuvat hitsauksen tarpeiden perusteella, jolloin hyödynnetään imuohjauksen periaatetta. Poweredissa nämä ajoittuvat taaksepäin ajoituksella hitsauksen aikataulusta. Hitsauksen jälkeiset vaiheet ja työt, joissa ei ole hitsausta menevät vielä työntöohjauksen mukaan.

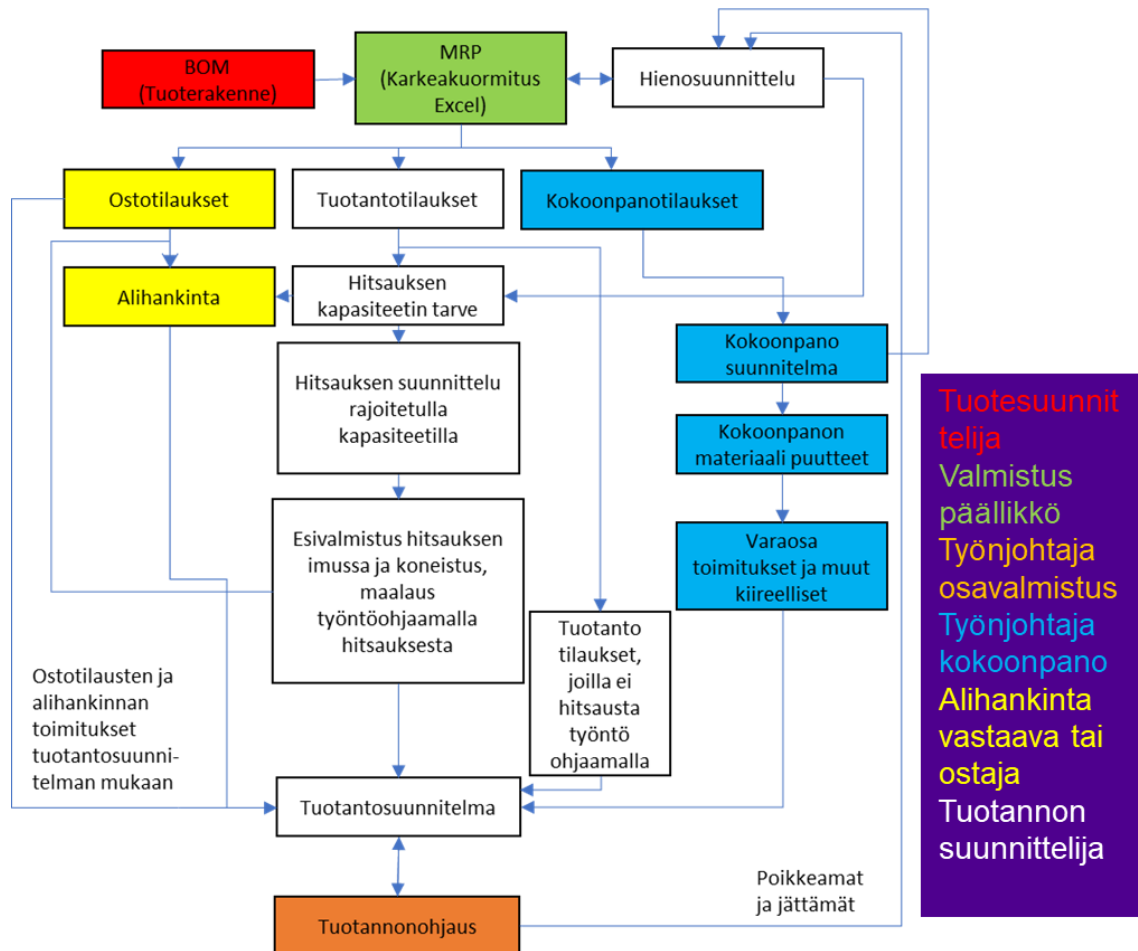
Tuotannon kapeikko eli hitsaus määrittää myös, minkä verran tuotantoa saa osavalmistukseen vapauttaa tuotannonsuunnittelijoiden toimesta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että hitsauksen töille on määritelty kapasiteetin mukaan minimi- ja maksimirajat sille, kuinka paljon työkuormaa hitsauksessa on. Hitsaukselle määriteltiin kapasiteettirajat hitsauksen työtuntien mukaan. Ensimmäiseksi tuli määrittää hitsauksen kapasiteetti, jota ei nykytilan kartoituksen perusteella tarkasti saatu määriteltyä. Tämä loi suuren haasteen hitsauksen kapasiteetin määrittelylle, koska kapasiteetti jouduttiin arvioimaan. Tuotannonsuunnittelun kanssa sovittiin käytännöstä, jossa hitsauksen työaikoihin arvioidaan myös kappaleiden käsittelyyn ja valmisteluun tarvittavat toimet. Näin ollen poistaen työajasta tauot päädyttiin yhden hitsarin osalta 35 tunnin viikko kapasiteettiin. Tämän perusteella kuormitusryhmässä hitsaus käytetään 210 tunnin viikkokapasiteettia hitsareita ollessa kuusi. Kuormitusryhmässä robottihitsaus ryhmän ollessa yhdessä vuorossa päädyttiin 35 tunnin viikkokapasiteettiin. Muidenkin osavalmistuksen kuormitukset korjattiin paikkaansa pitäväksi, jotta niitäkin voidaan seurata ja havaita selkeät ylikuormittumiset tuotantosuunnitelmissa.

Hitsauksen kuormituksen ylä- ja alarajat määriteltiin näiden viikkokapasiteettien mukaan. Alaraja tavoitteeksi määriteltiin 175 tuntia ja yläraja tavoitteeksi 225 tuntia hitsaus kuor-

mitusryhmän osalta. Näin osavalmistuksella olisi keskimäärin viikko aikaa vastata hitsauksen tarpeeseen. Tätä pidettiin läpimenoaikojen osalta hyvin mahdollisena. Robotti-hitsauksen osalta alarajaksi määriteltiin 30 tuntia ja ylärajaksi 50 tuntia. Näin ollen teräseleikkeitä tilataan osavalmistukseen korkeintaan viikkoa ennen hitsausta oman tuotannon tarpeisiin. Rajatavoitteet ovat hyvin maltilliset, mutta ennen kuin prosessi saadaan kuntoon, ei varmuusrajoja haluta laskea liian paljon. Pullonkaula vaihe eli hitsaus halutaan pitää resurssitehokkaana niin, että hitsauksessa on koko ajan varmasti töitä tehtävänä jonossa. Tämä vaatii osaltaan perustellun keskeneräisten tuotteiden varaston tuotantoprosessiin ennen hitsausta.

Yllä mainittuja kapasiteetteja tulee korjata ohjaustavan kehittyessä, sillä nämä ovat karkeita arvioita kapasiteetista. Todellinen kapasiteetti on varmasti pienempi, kuin esitetty tauot ja ruokailun poistava kapasiteetti arvio, mutta työaikojenkin arvioiden ollessa epätarkka on 100% kapasiteetin käyttäminen järkevää. Kapasiteetti määrittyy tarkemmin hitsauksen osalta, kun tuotannon työjonoja ja aikatauluja aletaan seurata systemaattisesti ja korjaamaan työaikoja todellisen toteumatiedon pohjalta. Tärkeää on lisäksi seurata tuotannon määrittelemiä työaikoja hitsattaville tuotteille, sillä tavoiteajat määrittävät järjestelmään kuormituksen määrän. Tämä tarkoittaa sitä, että varsinkin usein toistuvien nimikkeiden tapauksessa suunniteltujen työaikojen tulisi vastata toteutuneita työaikoja hyvin tarkasti, jotta tuotannonsuunnittelu tarkentuu. Tämän avulla pystytään hyödyntämään kapeikko-ohjausta tarkempien suunnitelmien pohjalta.

Tästä tuotannonohjaus tavasta laadittiin selkeä ohjeistus tuotannonsuunnitteluun, työnjohtajalle, alihankintavastaavalle ja hitsauksen keräilijälle, jotta prosessi olisi selkeä jokaiselle sidosryhmälle. Muulle osavalmistuksen henkilöstölle tulee tiedottaa muutoksesta ja painottaa kirjausten merkittävyyttä uuden ohjaustavan tullessa käytäntöön. Tällä keinolla informoidaan tuotantoa ja pyritään parantamaan kirjausten paikkansa pitävyyttä tuotannossa. Implementoinnin tueksi määriteltiin myös uusi prosessi tuotannonohjaukselle, joka on nähtävissä alla kuvassa 14. Kuvasta voidaan havaita pullonkaulan eli hitsauksen suunnittelu, joka edellä määriteltiin kapeikoksi. Prosessikaaviossa on prosessien värillä hahmoteltu kuka vastaa mistäkin prosessin vaiheesta. Vihreä väri edustaa valmistuspäällikköä, punainen tuotekehitystä, oranssi osavalmistuksen työnjohtajaa, sininen kokoonpanon työnjohtajia, keltainen alihankintavastaavaa tai ostajia ja valkoinen tuotannonsuunnittelua. Huomattavaa prosessissa on, että tuotannonsuunnittelijat tekevät jatkossakin vielä ostoja tuotantotilauksiin liittyen.



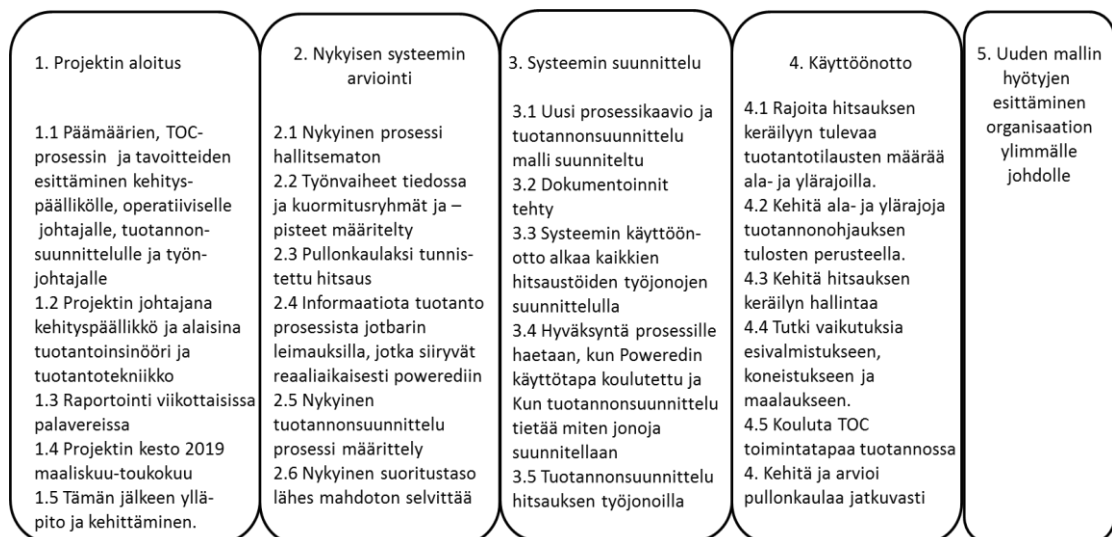
Kuva 14: Uusi tuotannonsuunnittelu malli

Kuva selkeyttää eri osastojen vastuualueita ja prosessin kulkua kaikissa mahdollisissa tilanteissa. Kuvasta voidaan huomata, että tuotannonsuunnittelu siirtyy paremmin tuotannonsuunnitteluun, mutta työnjohtajalla pysyy tuotannonohjauksen vastuualue. Tällöin työnjohtaja voi tehdä vielä joitakin muutoksia tuotantosuunnitelmaan, kuten valmistusjärjestysten vaihtamista suoraan tuotantosuunnitelmaan ilman, että tästä tarvitsee ilmoittaa. Tuotannon toimiessa yleisesti viikkotasolla yksittäiset muutokset eivät kokoonpanosuunnitelmia muuta. Suuremmat poikkeamat ja jättämät tuotantosuunnitelmassa pitää kuitenkin ilmoittaa tuotannonsuunnittelulle, jos niitä ei suoraan tuotantosuunnitelmassa näy. Tällöin pystytään paremmin varautumaan poikkeamiin ja jättämiin jo hienosuunnitteluvaiheessa.

Hienosuunnitteluvaiheessa on myös huomioitavaa, että kokoonpanosuunnitelma linkittyy hienosuunnitteluvaiheeseen. Hienokuormittaminen perustuu näin ollen kokoonpanopuolen tuotantosuunnitelmiin ja projektin kokonaisuudet voitaisiin pilkkoa pienemmiksi

osiksi. Näin saataisiin hienosuunnitelma, joka palvelisi kokoonpanoa tarkemmin ja paremmin. Tällöin osavalmistuksen ei tarvitsisi valmistaa kiireellisiä tuotantotilauksia suunnittelemattomasti ja kokoonpanopuolella olisi vähemmän materiaali puutteita. Hienokuorittaminen osavalmistuksessa tulisi näin ollen tehdä yhteistyössä kokoonpanopuolen tuotantosuunnitelman mukaan. Tämä voitaisiin toteuttaa viikottaisilla tuotannonsuunnittelun, osavalmistuksen ja kokoonpanopuolen välisillä palaverilla, joissa käytyä läpi hitsauksen työjonoja ja koneistuksen sekä pintakäsittelyn tuotannon tilannetta. Näin voitaisiin määritellä kiireelliset osat ja käydä läpi uusista projekteista, millaisessa järjestyksessä osat halutaan kokoonpanopuolella valmistuvan. Tämän palaverin pohjalta laadittaisiin halutut valmistuspäivät kokoonpanon osakokonaisuuksille, eikä pelkästään tukeuduttaisi tuotannossa karkeakuormitus Exceliin.

Tuotannonohjausmallin käyttöönottoprojektia varten määriteltiin myös yksityiskohtainen etenemissuunnitelma, joka on nähtävissä alla kuvassa 15. Kuvasta voidaan havaita jokainen projektin vaihe ja projektin kesto. Tämä on päivittyvä etenemissuunnitelma, mutta runko pysyy samanlaisena ja etenemistä seurataan loogisesti määriteltyjen kohtien mukaan. Osioille 1 ja 2 on varattu projektista yhteensä kuukausi ja osioille 3 ja 4 on varattu kummallekin yksi kokonainen kuukausi. Kuvan esitys vaiheessa ollaan kohdassa 3.4, missä ollaan etsimässä Poweredin parasta tapaa hallita työjonoja, joka sitten koulutetaan kaikille tuotannonsuunnittelijoille.



Kuva 15: TOC tuotannonohjausmallin etenemissuunnitelma

Kapeikko-ohjauksen etenemissuunnitelmassa systeemin suunnittelu ja käyttöönotto ovat kaikista kriittisimmät. Huolella tehty suunnitelma ja yksiselitteinen systeemi luovat pohjan sille, että kapeikko-ohjausta toteutetaan pidemmällä aikavälillä ja siitä tullaan saamaan todellista hyötyä. Pahin uhka on huonosti toteutettu ja hätköity käyttöönotto,

jolloin vanhaan toimintatapaan palaaminen on hyvin todennäköistä. Tämän johdosta kaikki edellytykset työnjonojen käyttämiselle tulee olla kunnossa ennen käyttöönottoa. Tämä pitää sisällään kirjauslaitteiden varman toiminnan ja varmistamisen, että järjestelmät joilla kirjataan ja suunnitellaan työjonoja toimivat halutulla tavalla. Tämän jälkeen voidaan siirtyä mallin käyttöönottoon ja sen kehittämiseen, joka toteutuu yllä esitettyjen vaiheiden avulla.

4.2 Mitattavuuden kehittäminen

Mitattavuuden osalta päädyttiin tutkimaan tuotannon koneiden käyttöasteiden, läpimeinoaikojen ja keskeneräisen tuotannon mitattavuutta. Käyttöasteita haluttiin mitata hitsausrobotista ja koneistamon laitteista. Esivalmistuksen osalta merkittävin tekijä oli hitsauksen osien tarpeen täyttäminen. Tältä osin päädyttiinkin siihen, että esivalmistuksen merkittävämmäksi mittariksi ei oteta käyttöasteita, vaan valmistuneiden hitsauskeräilyjen määrää esivalmistuksessa työjonojen mukaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että työjohtaja seuraa valmiiksi keräiltävien töiden määrää hitsaukseen ja käy niitä läpi esivalmistuksen kanssa. Tarvittaessa työjohtaja uudelleen järjestää resursseja työpisteille, jos jollekin pisteistä kertyy keskeneräistä työkuormaa selkeästi liian paljon. Näin esivalmistuksessa keskitytään toteuttamaan virtaustehokasta tuotantoa.

Hitsauksessa osien työaikojen seuraamista ja keskeneräistä tuotannon mittaamista pidettiin tärkeinä mittauksen kohteina. Työaikojen seuraaminen tapahtuu Poweredissa ajantasaisten kuittausten avulla ja keskeneräistä tuotantoa mitata kapeikko-ohjauksen määrittämien ylä- ja alarajojen mukaan. Kun usein toistuville nimikkeille aletaan saada standardiaikoja, voidaan poikkeamat havaita ja niiden syitä selvittää paremmin jatkossa tuotannossa. Standardiajat toistuvissa tuotteissa parantavat myös tarkkuutta keskeneräisen tuotannon arviointiin ja kapeikon ala- ja ylärajoja voidaan tarvittaessa laskea enemmän variaation vähentyessä. Koneistamossa haluttiin mitata yksinomaan koneiden käyttöastetta, sillä koneistuskoneiden käyttöasteet halutaan pitää mahdollisimman korkealla.

Osavalmistuksen koneseurantaa haluttiin tämän johdosta parantaa huomattavasti. Tämän tarpeen pohjalta aloitettiin teknologia osaston kanssa projekti osavalmistuksen IoT:n kehittämisestä. Projektia varten selvitettiin kohdeyrityksen verkkojen kommunikointi protokolat ja millaisia vaatimuksia verkolta vaadittiin, että se pystyy vastaanottamaan dataa osavalmistuksen koneilta ja tallentamaan sitä pilvipalveluun prosessoitavaksi. Pilvipalveluiden raportointi ja alusta ratkaisuihin tutustuttiin myös. Lisäksi tutkittiin

koneiden ominaisuuksia ja niiden mahdollisuuksia kommunikoida ohjausjärjestelmän avulla eli tutkittiin, miten mahdollistetaan dataportin (rs232 tai ethernet) kysellä koneen tietoja ohjaukselta. Tämän kartoituksen perusteella pystyttiin määrittämään viideltä työstökoneelta, hitsausrobotilta ja polttokoneelta datan saamisen olevan mahdollista suoraan ohjausjärjestelmästä. Ohjausjärjestelmästä saatavaa dataa voidaan pitää parempana, kuin antureitten avulla saatavaa dataa, sillä anturit kertovat vain tilan, eivät koneen virheilmoituksia. Näin ollen ohjausjärjestelmästä saatava data on huomattavasti informatiivisempaa.

Tämän kartoituksen jälkeen ryhdyttiin suunnittelemaan käyttöliittymää koneseurantajärjestelmälle. Koneseurantajärjestelmän käyttöliittymän vaatimuksiin määriteltiin mahdollisuus tarkastella koneiden tilaa reaaliaikaisesti ja saada yksittäisen koneen tilan historiatiedot näkyville. Lisäksi koneiden antamien virheraporttien tarkastelua ja työaikojen tehokkuuden analysointia pitäisi olla mahdollista tarkastella käyttöliittymästä. Virheraporttien tarkastelu ja työaikojen tehokkuuden tarkastelu saa poiketa pieniltä osin toisistaan kuormitusryhmistä riippuen, mutta koneiden tilatietojen pitäisi olla samanlaisia, jokaisella koneella. Nämä tilat määriteltiin seuraavasti; käsiajo/asetusajo, automaattiajo, häiriö ja keskeytetty. Oman käyttöliittymän luominen ei ole yleistä teollisuudessa, vaan yleensä otetaan valmis käyttöliittymä järjestelmiä toimittavalta yritykseltä. Kohdeyritys tekee kuitenkin kokonaisvaltaisia tuotantojärjestelmä toimituksia ja asiakkailta on tullut kyselyä, pystyykö yritys toimittamaan koneseurantajärjestelmiä kyseisten toimituksien yhteydessä. Tämän takia käyttöliittymä halutaan rakentaa osavalmistuksessa itse, jotta saadaan käytännön kokemusta järjestelmän rakentamisesta. Näin saadaan kehitettyä oma järjestelmä, jota voidaan pilotoida omassa tuotannossa ja tulevaisuudessa tarjota asiakkaillekin lisäoptiona järjestelmätoimituksessa.

Lopulta projektin edetessä päätettiin kohdeyrityksen oman koneseurantajärjestelmän keskittyvän osavalmistuksen polttokoneeseen ja hitsausrobottiin. Tämä päätös tehtiin sen takia, että kohdeyrityksen ydinosaaminen on hitsausrobottien valmistuksessa ja järjestelmätoimituksiin kuuluu usein myös polttokoneita, joita voidaan kohdeyrityksen kehitettävään koneseurantajärjestelmään liittää. Koneistamossa uudet koneistuskeskukset, Zayer pitkäjyrsin ja Aarpura TOS ovat Heidenhainin ohjauksella toteutettuja. Heidenhain onkin kehittänyt oman koneseurantajärjestelmän, joka on nimeltään Heidenhain State-Monitor. Tähän kyseiseen ohjelmistoon tutustuttiin esitteiden ja käyttäjäkokemusten perusteella ja arvioimalla järjestelmän kustannuksia. Loppupäätelmäksi tuli, että järjestelmä on hyvin monipuolinen ja kustannuksiltaan kilpailukykyinen. Näin ollen päädyttiin siihen, että koneistuksen osalta uusien keskusten tullessa osavalmistukseen, otetaan

Heidenhain Statemonitorin 90 päivän ilmainen demo testaukseen ja tehdään tämän jälkeen päätös kyseisen koneseurantajärjestelmän hankkimisesta.

Osavalmistuksen digitalisointi ja IoT tulevat tuotannossa herättämään monenlaisia tuntemuksia. Todennäköisin vastaanotto uuden koneseurantajärjestelmän kohdalla on vastarinta ja työn kyttäämisen tunne. Digitalisoinnista tulisikin informoida henkilöstöä siinä tilanteessa, kun on selkeästi päätetty mitä mitataan ja miksi kyseistä asiaa mitataan, jotta saadaan yhteistä ymmärrystä järjestelmää kohtaan. Lisäksi on syytä painottaa, että kyseinen seuranta on työkalu ja jatkuvaa parantamista tukeva järjestelmä, jonka avulla koko osavalmistus voi kehittää tehokkuuttaan. Tunnusluvuilla henkilöstö voi parhaimmillaan haastaa itseään ja tunnusluvut voivat aiheuttaa tervettä kilpailua osavalmistukseen. Määritellyt tavoitteet tunnusluville tulisivat myös olla realistiset. Varsinkin käyttöaste tavoitteiden asettamisessa voidaan hyödyntää tuotannossa kiertänyttä kyselylomaketta, johon työntekijät ovat itse määrittäneet käyttöaste näkemyksiään. Nämä asiat huomioon ottaen voidaan koneseurantajärjestelmästä saada kaikille yhteinen työkalu, jonka avulla ratkaistaan tuotannon ongelmia ja parannetaan tehokkuutta yhdessä.

4.3 Tuotannon tehostaminen

Tuotannon tehostamisessa keskityttiin hitsaamon ja koneistamon resurssitehokkuuteen ja tuottamattoman työn vähentämiseen. Tämän lisäksi tuotantoa tehostetaan uudella tuotannonohjaus periaatteella. Selkeäksi suunnaksi määriteltiin hitsauksen osalta osien etsimiseen kuluvan ajan poistamista ja osien valmisteluun sekä käsittelyyn kuluvan ajan vähentämistä. Osien etsiminen tulisi poistua tuotannosta hitsaajilta kokonaan, kun kaapeikko-ohjausta aloitetaan soveltamaan tuotannonohjauksessa.

Osien valmistelu ja käsittely johtuivat suurilta osin oman polttokoneen vaihtelevasta laadusta plasmalla polttaessa, jolloin metallipursetta voi kerääntyä polttokohdan ympärille. Polttokoneen suuttimet tulisi vaihtaa heti, kuin polttojälki huonontuu merkittävästi, jolloin hitsauksessa ei tarvitsisi työaikaa käyttää lisäarvoa tuottamattomaan työhön. Toisinaan plasmalla leikatessa vaativia muotoja tai hitsaus viisteitä on pinnanlaatu heikko. Tällöin polttokoneen työntekijän tulisi myös valmistella kappaleet mahdollisimman hyvin hitsaajaa varten, jotta pullonkaula vaiheessa eli hitsauksessa pystyttäisiin keskittymään arvoa tuottavaan työhön. Tätä varten ohjeistettiin polttokoneen viisteen käyttöä paremmin ja hankittiin metallimylly. Metallimyllyssä purseiset metallileikkeet pyöräytetään, jolloin purseet irtoavat ja hitsaajien ei tarvitse pursesta enää erikseen poistaa ennen hitsausta.

Polttokoneella keskitytään tällä hetkellä resurssitehokkuuteen. Tämä ei palvele hitsausta, sillä hitsauksessa joudutaan odottamaan yksittäisiä osia keskittyessä resurssitehokkuuteen. Oman hitsauksen tehokkuutta voitaisiin parantaa polttamalla projektikohtaisesti osia enemmän juuri vapauttamalla vain tietty määrä työmäärimiä tuotantoon. Raakateräksen hinta on kuitenkin hyvin korkea ja on perusteltua pyrkiä polttamaan ja nestäamaan levyt täyteen. Tämän johdosta, jos vapautuneista poltto työmäärimistä ei saataisi levyä täyteen, voisi polttokoneen töitä nestaava työntekijä täyttää lopun levyistä asennuspuolella käytettävillä koelevyillä. Tämä vaatisi sen, että luotaisiin varastosaldo asennuspuolella käytettävistä koelevyistä ja muista vakio tavaroista, joita voitaisiin valmistaa joustavasti varastoon. Tässä tapauksessa ohjeistus levyjen kirjaamisesta tulisi olla selkeää niin varastolle, asennuspuolelle, kuin myös polttokoneen käyttäjälle. Koelevyjä voisi valmistaa vain tietyn varmuusrajojen sisällä, jottei niiden määrä kasvaisi liian suureksi varastoon.

Koneistuksen osalta selkeäksi tehostamisen tavoitteeksi määriteltiin asetusajojen vähentäminen, kiinnittämiseen kuluvan ajan vähentäminen ja tehokkaampi työstö. Näihin kaikkiin vaikuttaa todella paljon tuotesuunnittelu, sillä asetusajoja voidaan vähentää käyttämällä standardoituja osia, jolloin voidaan käyttää tallennettuja työstöohjelmia. Kiinnittämiseen kuluva aikaa voidaan vähentää suunnittelemalla kiinnityspaikat etukäteen työstön mukaan. Kappaleita pystytään myös työstämään tehokkaammin, jos koneistuksen työkaluista ollaan hyvin tietoisia. Työn rajauksen osalta ei pystytty tutustumaan tuotekehityksen moduuleihin ja standardoinnin tasoihin. Työn puitteissa löytyi kuitenkin tietokannasta kolme vuotta sitten laadittu osavalmistuksen laitteisto dokumentti, jossa kerrotaan osavalmistuksen laitekanta yleisesti. Dokumentissa on myös yksityiskohtaisempi ohjeistus Zayer pitkäjyrsimen työvaiheista ja mitä asioita tuotesuunnittelijan tulisi ottaa huomioon suunnitelmissaan, jotta koneistus olisi mahdollisimman tehokasta. Tällaisten dokumenttien esittäminen ja läpikäynti varsinkin uusien tuotesuunnittelijoiden kanssa olisi hyvin tärkeää, sillä uusia suunnittelijoita on tullut huomattavasti lisää viimeisen kolmen vuoden aikana. Dokumentin on laatinut Zayer pitkäjyrsintä käyttävä koneistaja.

Toistuvien tuoterakenteiden ja vakiopalkkien osalta tuoterakenteiden läpikäyminen on erittäin tärkeää tuotannon tehostamisen näkökulmasta. Osavalmistuksessa voidaan monissa tuoterakenteissa käyttää samanlaisia osia tietyin muokkauksin. Näitä yhtenäisiä tuoterakenteita tulisi käydä läpi ja standardoida valmistettavia tuotteita mahdollisuuksien mukaan. Standardointi mahdollistaisi tuotannon osalta tarkemman suunnittelun, työvaiheiden optimoinnin ja lyhyemmät läpimenoajat. Kirjatuista laatupoikkeamista on arvioltaan yli 90 % työohjeiden puuttuvia mittoja. Valmistettaessa räätälöityjä tuotteita tulee

kyseisiä ongelmia aina olemaan. Standardoitujen moduulien osalta työkuvat pystyttäisiin korjaamaan ja näin ollen hukka työkuvien mittojen puutteellisuudesta vähenisi. Tämä tuotteiston osittainen standardisointi tulisi lähteä tuotejohdosta ja myynnistä, jonka kautta tuotejohto informoi tuotesuunnittelua standardoitujen moduulien käyttämisestä ja käytettävistä tuoterakenteista. Tuotteiden standardointia pidetään myös yhtenä edellytyksenä toteuttaessa Lean periaatteiden mukaista tuotantomuotoa.

Jatkuvan parantamisen ja Leanin kahdeksannen hukan mukaista työntekijöiden tiedon käyttämättömyyttä esiintyy kohdeyrityksessä. Tätä jatkuvaa parantamista voitaisiin kehittää tuotannossa esimerkiksi palautejärjestelmän avulla. Hitsauksen keräilyssä toimivassa tietokoneessa voisi olla käytössä Hoksu raportointijärjestelmä, johon työntekijät voisivat kirjata parannusehdotuksiaan. Nämä parannusehdotukset jäisivät avoimina auki esimerkiksi valmistuspäällikölle, joka informoisi tuotantotaulujen avulla, missä tilassa nämä parannusehdotukset ovat. Parannusehdotusten ollessa kannattavia ja hyödyllisiä yrityksen toiminnan kannalta palkittaisiin kehitysehdotuksen laatineita työntekijöitä. Tämä toisi läpinäkyvyyttä myös toimihenkilöiden tehtäviin ja auttaisi parantamaan kommunikointia sekä tehostamaan tuotantoa työntekijöiden omien parannusehdotusten avulla. Tällaisia parannusehdotuksia voisi olla esimerkiksi uuden kalvinsarjan hankkiminen koneistuskeskukselle. Työstöanalysointia ja työstöaikoja seuraamalla voitaisiin tarve uusiin työkaluihin perustella ja huomata tämän laskevan työstöaikoja huomattavasti. Merkittävän työstöaikojen laskemisen perusteella voitaisiin näin ollen parannusehdotuksesta henkilöstöä palkita.

4.4 Tuotannonjärjestelmät

Järjestelmien vertaamisessa keskityttiin MES-järjestelmien vertailemiseen eri laitetoimitajien välillä. MES-järjestelmään keskittyminen perusteltiin projektin aloitusvaiheessa, kun tiedostettiin MES-järjestelmän vastaavan tuotannon lattiataason ongelmiin. Näitä ongelmia olivat vanhentuneet paperiset työohjeet, työvaiheiden kirjausten unohtaminen ja laatupoikkeamien epämääräinen raportointi. MES-järjestelmän koettiin pystyvän korjaamaan näitä ongelmia. Lisäksi MES-järjestelmä tarjoaa paremman lattiataason näkyvyyden ja ajantasaisen tuotannon tilanteen tuotannonsuunnitteluun. Tuotannonsuunnittelun käyttöön APS-järjestelmän hyödyntämistä ei vielä tässä vaiheessa koettu tarpeelliseksi, sillä suunnittelussa nähtiin tärkeämmäksi perusasioiden parantaminen vielä ennen kuin erillistä tuotannonsuunnittelu järjestelmää harkitaan. Tuotannon työjonoja aletaan ka-peikko-ohjauksen mukaan laatia Powered ERP-järjestelmässä, jonka dynaamiset työ-

jono toiminnot nähtiin riittävänä kohdeyrityksen tuotannon suunnittelemiseen. Nämä työjonot MES-järjestelmä tarvitsee, jotta se voi esittää työjonoja tuotannossa. Järjestelmän tavoitteet ovat nähtävissä alla lueteltuna:

- Työn aloitus ja työn lopetus yhdellä painalluksella
- Työjonot Poweredista
- Työjonot ajantasaisia kuittausten perusteella
- Pitää nähdä onko työ mahdollista aloittaa
- Laatukirjaukset nimikkeelle ja työlle
- Ajantasaiset työkuvat
- Viivakoodin lukeminen

Järjestelmää tulisi pystyä käyttämään tabletilla ja käyttöjärjestelmän tulisi olla mahdollisimman selkeä. Työ voidaan olla myös näyttämättä työjonossa, jos sitä ei ole mahdollista aloittaa. Viivakoodin lukeminen on lisäoptiona, sillä erillistä työmääräimestä kuittaamista ei tuotannossa välttämättä tarvitse hyödyntää, kun kaikki työt ovat saatavissa MES-järjestelmässä. Ainut ongelma tässä on, jos töitä ei tehdä työjonon mukaisesti voi työnkuittaus kestää kauemmin, kun kyseinen työ joudutaan hakemaan työjonosta ilman viivakoodia. Siirtyessä paperittomiin työmääräimiin tulee huomioita, että varsinkin hitsauksessa työohjeet tulisi olla paperisina, sillä työkuva käsitellään paljon hitsauskäsineiden ollessa kädessä ja työn ohessa. Lisäksi isompien osien työohjeet on tulostettu A3-paperille, jolloin hitsaajat näkevät yhdellä tarkastelulla kaikki tarvittavat piirteet työkuvasta. Tällöin paperisen työmääräimen käsittely on helpompaa ja tehokkaampaa, kuin tabletin käsittely samanlaisessa tilanteessa. Muissa työvaiheissa tabletin käyttö ei ole yhtä ongelmallista, vaan soveltuu hyvin työohjeiden käsittelyyn. Paperisella työmääräimellä varustettujen töiden osalta on tärkeä varmistua työohjeiden paikkaansa pitävyydestä, sillä paperiset työohjeet eivät luonnollisesti päivitty. MES-järjestelmän tulisi informoida työntekijää työkappaleen mahdollisista rakenne muutoksista. Tällöin paperisen työmääräimen ajantasaisuus voidaan tarkistaa ennen työn aloittamista järjestelmästä.

WMS- ja MES-järjestelmän välisestä kommunikaatiosta tehtiin myös tutkimusta kohdeyrityksen harkitessa uutta WMS-järjestelmän käyttöönottoa lähiaikoina. Kummatkin järjestelmät ovat tuotannossa ISA-95 standardin mukaan kolmannen tason järjestelmiä ja näiden järjestelmien välisellä kommunikoinnilla voidaan saada huomattavia etuja. WMS-järjestelmään lavakohtaisten tietojen kirjaaminen tuotannossa tekisi lattiatasen hallinnasta huomattavasti parempaa. Näin keräilijä pystyisi tunnistamaan MES-järjestelmä näkymällä, millä lavoilla tuotantotilauksien osat ovat. Tällöin keräily selkeytyisi

huomattavasti ja oltaisiin enemmän perillä keräiltävien osien sijainnista. Tässä ratkaisussa ohjeistus kirjaamisesta olisi ensiarvoisen tärkeää. Tämä menetelmä parantaisi huomattavasti osavalmistuksen visuaalisuutta lavapaikkojen ollessa selkeitä. Käytännössä työkoneiden läheisyydessä olevat lavapaikat määriteltäisiin ja ne toimisivat väli-varastoina, joihin keskeneräinen tuotanto kirjattaisiin. Tämän perusteella voitaisiin hitsauksen keräilyssä hitsaukseen meneviä tuotantotilauksia tarkastella keräiltävyyden mukaan.

Yllä esitetyn tavoitteiden asettamisen jälkeen siirryttiin suunnitteluvaiheeseen, jossa vertailuun otettiin neljä erillistä järjestelmää. Suunnitteluvaiheessa kysyttiin tarkempia tietoja järjestelmätoimittajilta messuilla ja erilaisten esitysten ja demojen yhteydessä. Myös alustavia kustannusarvioita pyydettiin järjestelmien osalta. Järjestelmien vertailua varten laadittiin vertailuanalyysi, joka on nähtävissä liitteessä J. Pääkohdiksi vertailuanalyysissa otettiin työnohjaus, tuotetiedot, tuotantoinformaation keruu, kommunikointi ja toimittaja. Vertailuanalyysissa käytettiin painotettua vertailua ja strukturoitua kyselyä. Demojen ja esittelyjen jälkeen arvioitiin jokaiselle määritellylle kohdalle asteikolla 1–3, kuinka hyvin järjestelmä toteuttaa kyseisen vaatimuksen yhden ollessa huonosti tai ei ollenkaan, kahden ollessa keskivertoisesti ja kolmen ollessa hyvin tai erinomaisesti.

Työnohjauksessa painotettiin käyttöliittymän selkeyttä, helppokäyttöisyyttä ja mahdollisuutta joustavaan valmistukseen. Tämä on tärkeää, jotta voidaan toimia tehokkaasti ilman, että uuden järjestelmän käyttäminen vie merkittävästi aikaa lisäarvoa tuottavasta työstä. Lisäksi työnohjauksen näkökulmasta haluttiin pitää mahdollisena työmääräimetömiensäkin töiden kuittaaminen, jotta niiden oikea määrä voitaisiin oikeasti selvittää osavalmistuksessa. Tuotetiedoissa painotettiin nimikkeen viimeisimmän revision saatavuutta ja nimikkeen jäljitettävyyttä, jos se on kopioitu uudeksi nimikkeeksi. Tämä on tärkeää varsinkin koneistamolle, sillä väärillä arvoilla koneistettua kappaletta on hyvin haastavaa tai mahdotonta enää korjata. Nimikkeen jäljitettävyys on myös tärkeää sillä, jos nimike on kopioitu muokattavaksi vanhemmasta nimikkeestä, on koneistajilla todennäköisesti valmiiksi työstöohjelma alkuperäisestä nimikkeestä tallennettuna. Tässä tapauksessa asetusaikaa säästyy huomattavasti, vaikka nimikkeeseen olisikin tehty pieniä muutoksia.

Tuotantoinformaation keruussa painotettiin kommenttikenttää käyttöliittymässä, status-tietoja ja tehtyjen kappalemäärien kirjausta. Poikkeamien tai valmistettavien tuotteiden suunnittelurakenteen johdosta haastavaa valmistamista tulisi pystyä kommentoimaan helposti niin, että tietoa saadaan kirjattua ja käsiteltyä. Tämä käsiteltävä tieto pitäisi tulla

valmistuspäällikölle käsiteltäväksi, josta se kohdennetaan suoraan poikkeaman aiheuttaneeseen tekijään. Statustietoja voidaan käyttää koneilla, joista ei automaattista mitaustietoa pystytä keräämään ja jos tehty kappalemäärä poikkeaa jostain syystä tuotantotilauksen kappalemäärästä, tulisi se pystyä helposti raportoimaan. Lisäksi lyhyitä töitä pitäisi pystyä kirjaamaan sarjassa massakirjauksella, ettei jokaisen pienen työn kirjaukseen kulu erikseen aikaa.

Kommunikoinnin osalta tärkeää oli kommunikoinnin toteuttaminen Poweredin ja WMS-järjestelmän kanssa. Rajapinnan osalta verrattiin sen teknistä toteutusta ja ylläpito kustannuksia. Tuotantotilauksen tuonnissa tärkeänä pidettiin, ettei sitä tarvitse tehdä millään tasolla manuaalisesti. Kustannusten ja jatkuvuuden osalta vertailtiin järjestelmätoimittajien vakavaraisuutta, järjestelmän oletettuja kustannuksia ja jatkuvan yhteystyön edellytyksiä. Vertailuanalyysin tulokset ovat esitettynä alla taulukossa 1.

Taulukko 1: *Vertailuanalyysin tulokset*

Järjestelmä	Järjestelmä 1	Järjestelmä 2	Järjestelmä 3	Järjestelmä 4
Vertailuanalyysin pisteet (painotettu)	113	117	102	117

Järjestelmä 1 on toiminnaltaan monipuolinen MES-järjestelmä, joka on toiminnoiltaan erinomainen varsinkin kokoonpanevaan teollisuuteen. Lisäksi järjestelmässä on panostettu WMS-järjestelmän kanssa kommunikointiin. Järjestelmässä työjonojen näkymä on selkeä ja työntekijät pystyvät yhdellä silmäyksellä näkemään seuraavan tehtävän työn ja tarvittaessa muokata työjonoja. Laatukirjauksien laatiminen on helppoa järjestelmässä ja järjestelmää pystyy muokkaamaan helposti omien tarpeiden mukaisesti. Järjestelmä täyttää osaltaan kaikki tarvittavat järjestelmä vaatimukset. Ainoita huomattavia moitteita järjestelmässä on eri ikkunoiden välillä pomppiminen ja rajapinnan erillinen rakentaminen järjestelmälle voi tulla kustannuksiltaan hyvinkin kalliiksi.

Järjestelmä 2 on muokattavin ja joustavin MES-järjestelmä vertailtavista järjestelmistä. Järjestelmätoimittaja ei ole keskittynyt vain MES-järjestelmään, vaan yrityksen tarkoituksena on ottaa kaikki ISA-95 standardin määrittämät tasot haltuun ja tarjota kokonaistointituksia, johon kuuluvat niin APS-, MES-, WMS-, kuin myös ERP-järjestelmä. Itse MES-järjestelmä on hyvinkin informatiivinen ja tarjoaa kattavasti yhdestä näkymästä työjonon, laatukirjaukset, työkuvat ja tarvittavat materiaalit. Työn aloitus ja keskeytys löytyvät vakiona aina sivujen alareunan palkista. Integroinnin osalta järjestelmä on yksinkertaista

integroida tuotetietojen hallintajärjestelmään, mutta ERP-järjestelmän integroinnin kanssa voi mahdollisesti joitakin ongelmia ilmetä, vaikka rajapinta määriteltäisiin selkeästi. Tätä havaintoa tukee saman toimittajan tuotehallintajärjestelmän toimivuuden epävarmuus joissakin tilanteissa, kun järjestelmä keskustelee muiden järjestelmien kanssa.

Järjestelmä 3 on informatiivisin järjestelmä. Järjestelmään saa yhdellä näkymällä tehtävät työt ja koneenseurannan tietoja. Kirjaukset pitää kuitenkin tehdä järjestelmään erillisestä työjono näkymästä. Järjestelmän käyttöliittymä on melkein liian informatiivinen ja hajanainen kohdeyrityksen osavalmistuksen käyttöön. Toimittajan MES-järjestelmä on enemmänkin keskittynyt yhdistämään lattiatasonohjausjärjestelmän ja MES-järjestelmän yhdeksi kokonaisuudeksi. Lattiatasonjärjestelmä on tarkoitus kohdeyrityksessä toteuttaa omana järjestelmänä niin kuin edellä on asiasta mainittu. Tämä ei näin ollen tuonut huomattavaa lisäarvoa järjestelmälle.

Järjestelmä 4 on uusiin vertailtavista MES-järjestelmistä. Järjestelmän toimittaja ei yksistään keskity ISA 3-tason järjestelmiin, vaan on keskittynyt toimittamaan 4-tason toiminnanohjaus järjestelmiä. Tämä tuo varsinkin toimivaan integraatioon toiminnanohjausjärjestelmien kanssa vankkaa osaamista, mutta toisaalta käyttöliittymä on hyvin yksinkertainen ja joitakin ominaisuuksiltaan hiukan rajoittuneempi. Lisäksi kunnollista referenssi yritystä ei järjestelmän toiminnasta löydy sen ollessa hyvin uusi markkinoilla. Tämä tarkoittaa, että kohdeyritys toimisi pilottikäyttäjänä järjestelmälle. Tässä on omat etunsa ja riskinsä. Etuna on se, että yhteistyö olisi hyvin tiivistä ja kohdeyrityksen mielipiteitä kuunneltaisiin ja järjestelmää olisi helppo muokata mielipiteiden perusteella. Riskinä on järjestelmän toimimattomuus ja uuden järjestelmän virheiden korjailu, kun ne tulevat tuotannossa esille. Demo käynnillä järjestelmä vaikutti kuitenkin hyvin rakennetulta ja siinä oli otettu selvästi viitteitä muiden järjestelmätoimittajien ratkaisuksista. Miinuksena järjestelmässä oli referenssien puutteellisuus ja laitekohtaiset kustannukset. Näin ollen järjestelmä ei välttämättä vastaa tavoitteita ja sen kehittyminen voi olla hitaampaa, kuin muiden järjestelmätoimittajien tapauksessa.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET

5.1 Johtopäätökset

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia kohdeyrityksen osavalmistuksen kapasiteetin hallintaa, tehostamista ja mitattavuutta. Kohdeyrityksen tilauskanta on kasvanut voimakkaasti ja näin ollen valmistettavien tuotteidenkin määrä on osavalmistuksessa kasvanut merkittävästi. Nykyinen työntöohjaukseen perustuva tuotannonohjausperiaate ja lattiataason havainnointi työn tiloista ei enää riitä hallitsemaan osavalmistuksen kapasiteettia. Tähän tarpeeseen kehitettiin osavalmistukseen uusi tuotannonohjausperiaate, joka perustuu TOC-kapeikko-ohjaukseen. Kapeikko-ohjaus valikoitui käytettäväksi tuotannonohjausmenetelmäksi osavalmistukseen tuotannon variaation johdosta, jolloin täydellistä imuohjautuvaan perustuvaa tuotannonohjausta ei voida toteuttaa.

Kehitetty tuotannonohjausperiaate antaa selkeän mallin osavalmistuksen tuotannonohjaukseen, jota voidaan kehittää jatkuvasti vastaamaan paremmin osavalmistuksen tarpeita. Mallilla tähdättiin myös parempaan kokonaiskuvan hahmottamiseen ja työjonojen hallintaan järjestelmän avulla. Mallille luotiin selkeä prosessikuvaus ja etenemissuunnitelma, jotta malli on yksiselitteinen ja sitä käytettäisiin systemaattisesti. Mallia ei pystytä ennen varsinaista toteutusta täysin testaamaan ja validoimaan esimerkiksi simulointimallilla. Simulointimallilla ei suuresti vaihtelevasta tuotannosta saataisi selviä yksiselitteisiä tuloksia. Näin ollen mallin toimivuus voidaan todeta vasta käyttöönoton jälkeen varsinaisessa kohdeyrityksen tuotannossa. Kirjallisuuden perusteella asiakasohjautuvassa tuotannossa on kuitenkin saatu hyötyjä käyttämällä kyseistä tuotannonohjausperiaatetta. Esiteltyä TOC tuotannonohjausmallin etenemisen suunnitelmaa on mahdollista hyödyntää muissakin kapeikko-ohjauksen käyttöönottoprosesseissa.

Kapeikko-ohjauksen mallissa merkittävänä tekijänä on kapasiteetin hallinta kapeikossa, mikä määrittää tuotannon tehokkuuden. Tämän pohjalta haluttiin kehittää myös tuotannon mitattavuutta. Havainnoinnin ja alihankintaostojen perusteella kapeikoksi määritellyä hitsausta haluttiin varsinkin seurata. Yksi työn tavoitteita olikin havaita osavalmistuksen pullonkaulat ja kehittää niiden toimintaa. Tämän lisäksi koneistus on laaja monen kuormitusryhmän kokonaisuus, joka voi muodostua pullonkaulaksi. Tämän takia haluttiin

myös koneistamon mitattavuutta kehittää, jotta kyseisen kuormitusryhmän kapasiteetista oltaisiin myöskin paremmin tietoisia, jos se muodostuu tuotannossa pullonkaulaksi. Tähän varautumista tukee myös se, ettei hitsauksen pullonkaulana pitämistä voida pitää täysin luotettavana tuloksena, koska se perustuu tuotannon havainnointiin kolmen kuukauden pituiselta ajalta ja ostorivien määrän viimeisen vuoden ajalta. Tällöin on perusteltua parantaa myös koneistamon kapasiteetin hallintaa systemaattisesti, jos se tode-taankin kapasiteetin hallinnan ja uuden ohjaustavan käytön myötä tuotannon pullonkaulaksi.

Mitattavuus päätettiin toteuttaa IoT-ratkaisuna ja käyttää modernia koneseurannan menetelmiä. Tämä toteutetaan lukemalla laitteiden ohjauksien tilatietoja. Tässä tavoitteeksi asetettiin käyttää oman teknologiaosaston tietotaitoa mahdollisimman paljon, sillä järjestelmäpuolella kohdeyrityksellä on myös vankkaa osaamista käyttöliittymien luomisen ja tuotantojärjestelmien seurannan osalta. Työn osalta tämä osuus rajattiin siihen, että määriteltiin mitä koneen tilatietoja halutaan saada pilvipalveluun analysoitavaksi ja miltä koneilta tilatietojen tiedustelu ohjausjärjestelmästä on mahdollista. Koneseurantajärjestelmät päätettiin jakaa kahdeksi järjestelmäksi, joista toinen järjestelmä kattaa hitsausrobotin ja polttokoneen ja se toteutetaan oman teknologiaosaston toimesta. Toinen seurantajärjestelmä otetaan koneistuskoneiden ohjausjärjestelmä toimittajalta Heidenhainilta, joka on luonut omia ohjausjärjestelmiään varten seurantajärjestelmän juurikin koneistusta varten. Tähän järjestelmään voidaan liittää pitkäjärsin Zayer, aarpora TOS, uudet koneistuskeskukset ja FAT TUR sorvi.

Koneseurantajärjestelmien käyttöönoton yhteydessä painotettiin tuotannon työntekijöiden asenteiden huomioon ottamista ja työntekijöiden osallistamista koneseurannan toteutusvaiheessa.

Tarkasteltaviksi mittaustiedoiksi valikoitui järjestelmien avulla ja uuden ohjausperiaatteen mukaan käyttöasteet koneistamon laitteilla ja hitsausrobotilla, läpimenoajat ja keskeneräinen tuotanto hitsauksessa ja esivalmistuksessa valmistuneiden hitsauskeräilyjen määrä. Näitä mittareita seuraamalla ja asettamalla tavoitteita, pystytään osavalmistuksen toimintaa kehittämään ja hyödyntämään todenmukaista mittaustietoa päivittäisjohtamisessa. Mittareiden määrittelyssä tulee muistaa, että niitä ei voida ottaa käyttöön ennen kuin ne on todettu valideiksi ja yksiselitteisiksi tuotannonjohtoon ja työntekijöiden välillä.

Tuotannon tehostamisessa selkeäksi tavoitteeksi asetettiin esivalmistuksen toimiminen virtaustehokkaasti ja hitsauksen, koneistuksen ja pintakäsittelyn toimiminen resurssitehokkaasti. Varsinkin polttokoneen poltto järjestyksiä seurattiin ja polttokoneesta poltettujen levyjen laatua tarkkailtiin. Tämän pohjalta esitettiin metallimyllyn hankinta tarve ja keskityttiin polttamaan enemmän hitsauksen tarpeen mukaan kappaleita. Hitsaukseen ei itsessään tehty mitään muutoksia, vaan tehokkuuden kasvu perustui parempaan ja selkeämpään hitsauksen keräilyyn. Koneistamossa myöskään suoranaisia muutoksia ei prosessiin tehty, sillä koneistamon tehokkuutta pystytään nostamaan suunnittelemalla osia koneistettavuuden mukaan. Koneistamon näkökulmasta paras tehokkuutta lisäävä toimi on tuotesuunnittelijoiden tiedon lisääminen koneistamon laitteista ja vaikeasti koneistettavista piirteistä. Pintakäsittelyyn ei myöskään työn puitteissa tehty muutoksia. Turhan liikkumisen vähentämiseen ehdotettiin leimauspäätteiden lisäämistä, jotka voitaisiin toteuttaa työpistekohtaisesti MES-järjestelmässä, joka tarjoaa muitakin toimintoja työntekijän työn tueksi. Jatkuvan parantamisen harjoittamiseen ehdotettiin palautejärjestelmän kehittämistä, koneseurantajärjestelmää ja poikkeamien helpompaa raportointia.

Tuotannonohjausjärjestelmien osalta kartoitettiin nykyisin valmistavassa tuotannossa laajasti käytettäviä APS- ja MES-järjestelmiä. Aloitusvaiheen ja esikartoituksen jälkeen selkeäksi tarpeeksi osoittautui MES-järjestelmän hyödyntäminen tuotannossa sen vastatessa suureen osaan määritellyistä ongelmista. APS-järjestelmän tarkempaa kartoitusta ei tehty, sillä todettiin toiminnanohjausjärjestelmän olevan tässä tilanteessa tarpeeksi tarkalla kuormitustasolla toimiva järjestelmä osavalmistuksen toimitusvaatimukset ja tuotevariaatio huomioon ottaen. MES-järjestelmälle asetettiin selkeät tavoitteet, jotka olivat työkuviin paikkansa pitävyys ja jäljitettävyyden, leimauksien paikkansapitävyyden varmistaminen ja poikkeamien helpompi raportointi. MES-järjestelmän toiminnallisuus ja käyttöliittymä vaatimukset määriteltiin tuotannon tarpeiden mukaan. MES-järjestelmien vertailussa hyödynnettiin vertailuanalyysia ja analysoitavaksi otettiin neljän järjestelmätoimittajan MES-järjestelmä. Tämän vertailuanalyysin pohjalta esitettiin hankintatarve, joka valikoitui järjestelmäksi 4. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että järjestelmät 1 ja 2 saivat myös hyvän pisteytyksen, joten näitä järjestelmiä voidaan myöskin harkita pilottivaiheeseen varsinkin, jos WMS-järjestelmä toimitus tulee jommaltakummalta kyseisistä toimittajista.

Järjestelmätoimittajan 4 pilottivaihe kattaisi hitsauksen ja koneistuksen pilottivaiheen ja järjestelmän ominaisuutena toimisi ensimmäisenä työjonojen näyttäminen työpisteillä ja työn aloituksen ja -lopetuksen kuittaus suoraan tabletilla. Tässä vaiheessa, kun tuotan-

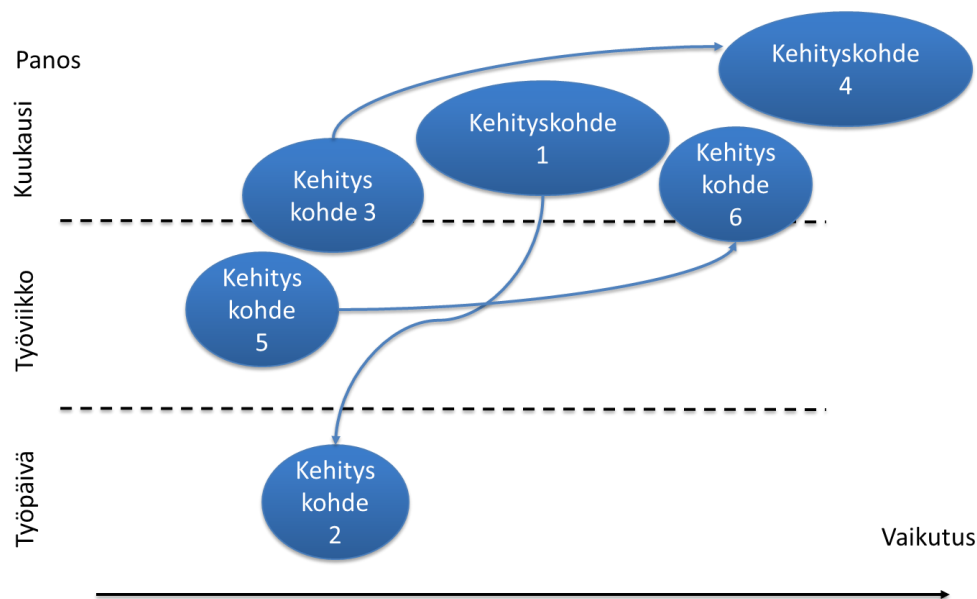
nossa ei vielä töitä tehdä työjonojen mukaisesti vaatisi pilottijärjestelmä langattoman viivakoodin lukijan, jolloin töitä ei tarvitsisi etsiä erikseen työjonosta kuitattavaksi. Pilottivaiheessa voidaan myös lisätä työkuvien linkkejä järjestelmään, jolloin työkuvien tarkastelu onnistuu tabletin kautta ilman paperista työmääräintä.

Teoriassa esitettyä tuotantojärjestelmän käyttöönottoprosessia pystyy sellaisenaan hyödyntämään muissakin kartoituksissa, kuin kohdeyrityksen järjestelmäkartoituksessa. Järjestelmien vertailuanalyysia on lisäksi käytetty muissakin töissä määriteltäessä mahdollisia järjestelmätoimittajia. Se on systemaattinen tapa, jolla pystyy vertailemaan monia eri järjestelmää ja niiden ominaisuuksia yrityksen tarpeiden mukaan. Tällainen laajempi esikartoitus on hyvin tärkeää pohdittaessa laajamittaista ja pitkällä aikavälillä vaikuttavaa järjestelmätoimitusta, joka vaikuttaa tuotannon toimintaan huomattavasti tulevaisuudessakin.

5.2 Jatkotoimenpiteet

Jatkotoimenpiteitä työn pohjalta toimii alla listatut toimenpide suositukset. Esitetyt jatkotoimenpiteet ovat myös esitetty alla taulukossa 2. Taulukossa on pystyakselilla kuvattuna kehityskohteen toteutukseen vaadittava panos ja vaaka-akselilla kehityskohteen toteutuksen vaikutukset osavalmistuksen tehokkuuteen.

1. Uuden tuotannonohjausmallin käyttöönottovaiheen loppuun vienti osavalmistuksessa
2. Osavalmistuksen ja kokoonpanopuolen yhteiset palaverit osavalmistuksen hienosuunnitelmista
3. Uusienn koneiseurantajärjestelmien viimeistely ja käyttöönotto osavalmistuksessa
4. Kohdeyrityksessä kattava selvitys standardi moduulien käytettävyydestä tuotannossa ja useimmiten toistuvien nimikkeiden valmistettavuuden optimoinnista
5. MES-järjestelmän pilottivaiheen suorittaminen vertailuanalyysissa parhaiten pisteytetyn järjestelmätoimittajan kanssa
6. MES-järjestelmän käyttöönotto osavalmistuksessa

Taulukko 2: Kehityskohteiden panos-vaikutus kuvaaja

Uuden tuotannonohjausmallin käyttöönoton arvioidaan ottavan noin kuukauden panoksen työntekijöiltä. Tämä pitää sisällään sen, että tuotannonsuunnittelijat alkavat laatimaan jonoja ja rajoittavat tuotantoa hitsauksen ala- ja ylärajojen mukaan. Lisäksi työnohtajan tulee toimia näiden työjonojen mukaan ja pitää huolen, että leimaukset toteutuvat oikein tuotannossa. Kehityskohteen 1 jälkeen voidaan aloittaa pitämään yhteisiä palaverieja työjonojen mukaan osavalmistuksen ja kokoonpanopuolen välillä. Näissä palavereissa kokoonpanopuoli voi vielä puuttua laadittuihin seuraavan viikon työjonoihin, joita sitten tuotannonsuunnittelijat tarvittaessa muokkaavat.

Kolmantena kehityskohteena on koneiseurantajärjestelmien viimeistely ja käyttöönotto. Koneiseurantajärjestelmien käyttöönotot olisi hyvä tehdä uusien koneistuskeskusten tullessa osavalmistukseen, jolloin kaikki seurattavat koneet voitaisiin yhdellä kerralla liittää koneaseurantaan. Tämä ottaa asennukseltaan noin viikon työpanoksen. Kehityskohde 3 on kriittinen kehityskohteelle neljä, koska koneiseurantajärjestelmän avulla pystytään huomaamaan, mitä hyötyjä rakenteiden optimoinnista ja moduulien standardoinnista tosiasiassa osavalmistukselle ja varsinkin koneistukselle on. Kehityskohde neljä on näin ollen hyvin laaja kokonaisuus. Arvioltaan kehityskohde 4 on lopputyön laajuinen, joten se vaatii pidemmän aikaa työntekijän panoksen, mutta vaikutukset ovat onnistuneen ja kattavan selvityksen jälkeen todennäköisesti hyvin huomattavat.

Viidentenä kehityskohteena toimii MES-järjestelmän pilotointivaiheen suorittaminen. Tämä vaatii asennustyön tuotantoon ja järjestelmän kouluttamisen pilottiin osallistuvalla ryhmälle, joten panosta tämä ottaa henkilöstöltä yhteensä työviikon verran. Kuudentena

kehityskohteena toimiva MES-järjestelmän käyttöönotto osavalmistuksessa kattaa kaikkien työpisteiden liittämisen MES-järjestelmään, joka vaatii koko osavalmistuksen henkilöstön kouluttamisen järjestelmän käyttämisestä. Panosta tämä kehityskohde vie arvioltaan kuukauden verran, mutta vaikutus on myös laajempi saataessa koko käyttäjäryhmä käyttämään järjestelmään.

6. YHTEENVETO

Toiminnan kasvaessa myös operatiivisien prosessien tulee kehittyä, jotta tuotannon toiminnot pysyvät tehokkaina ja tuottavina. Tehottomuus kätkeytyy yleisesti päivittäiseen toimintaan ja tehottomuuteen vastataan kasvattamalla varmuusvarastoja ja lisäämällä alihankintaa. Kasvun myötä ohjattavien asioidenkin määrä kasvaa ja tätä massaa ei enää yksinkertaisesti pystytä hallitsemaan pelkän muistin varassa. Tämä työ pureutui näihin kasvun tuomiin ongelmiin ja niiden ratkaisuihin. Ratkaisuja haettiin kirjallisuudesta, referenssivierailuilta, järjestelmiin tutustumalla, tuotantoa havainnoimalla ja avoimien haastatteluiden avulla.

Tuotannonohjausperiaatteeksi ehdotettu kapeikko-ohjaus on kehitetty asiakasohjautuvan tuotannon käyttöön, jossa esiintyy paljon variaatiota. Uuden tuotannonohjaus mallin avulla pystytään olemaan tilannetietoisia tuotannosta ja tekemään oikeita päätöksiä reaaliaikaiseen tuotannon tilanteeseen perustuen. Ohjausperiaate luo selkeän tavoitetila, joka tuo toteutuessaan muitakin hyötyjä, kuten kapasiteetin tarkemman seurattavuuden ja vastauksen siihen, miksi tuotannon asioita tulisi käsitellä järjestelmän kautta, eikä pelkän muistin ja havainnointi tiedon perusteella.

Mitattavuuden osalta kehitetty tuotannonohjaustapa lisää itsessään jo tuotannon tehokkuuden mittaamista ja osavalmistuksen todellisen kapasiteetin mittaamista. Tämän rinnalle kehitettiin ja tehtiin selvitystä lattiatasonseurantajärjestelmistä. Tämä selvitys tuki tuotannon reaaliaikaista seurantaa ja koneiden todellista käyttöasteiden seurantaa. Lattiatasonseurantajärjestelmillä on referenssien ja kirjallisuuden perusteella saatu tehokkuuden kasvua pureutumalla poikkeamiin, jolloin häiriöt ja tehottomuus ovat mahdollista havaita järjestelmien avulla ja ratkaista ongelmia todellisen tiedon pohjalta. Työssä esitettiin kaksi erillistä järjestelmäratkaisua. Toinen järjestelmä on kehitetty yksinomaan koneistuksen tarpeisiin ja on lattiatasonseurantajärjestelmäksi erittäin kehittynyt koneistuksen osalta. Toinen järjestelmä keskittyy polttokoneen ja hitsausrobotin lattiatasonseurantaan ja on tarkoitus toteuttaa kohdeyrityksen omana järjestelmänä. Tämä oman seurantajärjestelmän kehittäminen antaisi arvokasta tietoa kohdeyritykselle järjestelmän toteuttamista ja näin järjestelmää voitaisiin tarjota myöskin kohdeyrityksen asiakkaille omana tuotteenaan.

Työssä esitettiin konkreettisia tuotannon tehostamiseen vaikuttavia toimenpiteitä, jotka liittyivät suuriltaosin tuotannon sisäisen laadun parantamiseen, laatupoikkeamien helpompaan kirjaamiseen ja palautejärjestelmän käyttämiseen. Lisäksi tehtiin ISA-standardiin perustuva järjestelmä selvitys ja tutustuttiin paremmin tuotannonohjauksessa käytettäviin MES-järjestelmiin. Selvityksen avulla saatiin parannettua tietoisuutta tuotannossa käytettävistä järjestelmistä ja tehtävien jakoja järjestelmien välillä ISA-standardin määritelmien mukaan. MES-järjestelmän hankintatarpeen kartoittamiseksi tehtiin neljän potentiaalisen järjestelmän vertailuanalyysi, mistä saatiin käsityksiä eri järjestelmätoimittajien ratkaisusta ja näin ollen pystyttiin löytämään yritykselle soveltuvin järjestelmä. Tämän perusteella esitettiin mahdollinen pilottihanke järjestelmätoimittajan 4 kanssa, mutta painotettiin myös järjestelmien 1 ja 2 soveltuvuutta kohdeyrityksen tarpeisiin.

Työssä käsiteltiin kohdeyrityksen osavalmistuksen kapasiteettia, tehostamista ja mitattavuutta. Työn avulla saatiin muodostettua kattava selvitys osavalmistuksen tilanteesta ja siitä, mihin asioihin tulisi tulevaisuudessa osavalmistuksessa keskittyä. Työn rajoitusten puitteissa minkään järjestelmän käyttöönotto vaiheeseen ja tuloksellisuuteen ei päästy. Nykyisen ERP-järjestelmän parempaa hyödyntämistä päätöksenteon tukena, pystyttiin kuitenkin edistämään jo työn aikana. Työ tarjoaakin pidemmän aikavälin tavoitetilan ja menetelmiä, miten sinne päästään. Digitaalisuuden ja järjestelmien lisääminen ei itsessään ratkaise mitään, vaan päätöksenteon keskiössä pysyy vieläkin työntekijät. Järjestelmät tarjoavat työkaluja päätöksenteon tueksi, jotka ohjaavat ja opastavat työntekijöitä tekemään oikeita päätöksiä todellisen ja reaaliaikaisen tiedon perusteella.

LÄHTEET

Anisimov D., Reshetnikov I. (2011) Management aspects in MES implementation projects', Automation and Remote Control, 72(6), p. 1319.

Behrens B., Lau P. (2007) Key performance indicators for sheet metal forming processes, pp. 73–78.

Blecker T., Friedrich G., Kaluza B., Abdelkafi N., Kreutler G. (2005) Information and Management Systems for Product Customization, Contributor Thorsten Blecker Published by Springer.

Claycomb C., Germain R., Dröge C. (1999) Total system JIT outcomes: inventory, organization and financial effects, International Journal of Physical Distribution and Logistics, 29 (10) (1999), pp. 612–630.

Eräsaari L., (2012) Jos ratkaisu on yhteisö, niin mikä on ongelma? Teoksessa K. Filander & M. Vanhalakka-Ruoho (toim.), Yhteisöllisyys liikkeessä. Aikuiskasvatuksen 48. vuosikirja.

Fei L. (2010) Manufacturing Execution System Design and Implementation, pp. 559–563.

Geissbauer R., Schrauf S., Berttram P., Cheraghi F. (2017) Digital Factories 2020: Shaping the future of manufacturing.

Green Jr. K., Inman R., Birou L., Whitten D. (2014) Total JIT (T-JIT) and its impact on supply chain competency and organizational performance, International Journal of Production, pp. 125–135.

Hadaś Ł., Cyplik P. (2012) Practice of building production planning system of company with a wide range of products – Case study, Scientific Journal of Logistics, pp. 191–200.

Haverila M., Uusi-Rauva E., Kouri I., Miettinen A. (2009) Teollisuustalous, Published by Infacs Oy, 6th edition.

Herzog K., Winter G., Kurka G., Ankermann K., Binder R., Ringhofer M., Maierhofer A., Flick A. (2017) The Digitalization of Steel Production, Berg Huettenmaenn Monatsh, Vol. 162 pp. 504–513.

Hirsjärvi S., Remes P., Sajavaara P. (2007) Tutki ja kirjoita, Kustannusosakeyhtiö Tammi, pp. 448.

Hu J., Xiong C. (2014) A Manufacturing Execution System for Discrete Industry, pp. 1585–1588.

Inman R., Sale R., Green Jr. K., Whitten D., (2011) Agile manufacturing: Relation to JIT, operational performance and firm performance, Journal of Operations Management, pp. 345–355.

ISA-95.00.01-2005, Enterprise - Control System Integration, Part 1: Models and

Terminology, ISA Standard, 2005.

ISA-95.00.03-2005 Enterprise - Control System Integration, Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management, ISA Standard, 2005.

Järvenpää E., Lanz M. (2014) Tuotannonsuunnittelu ja -ohjaus suomalaisissa valmistavan teollisuuden yrityksissä – Nykytila, haasteet ja tarpeet.

Järvinen P. (2008) Menestyvän työyhteisön pelisäännöt. pp.165 Helsinki: WSOY.

Kingsman B. (2000) Modelling input–output workload control for dynamic capacity planning in production planning systems, *International Journal of Production Economics*, Vol. 68, pp. 73–93.

Knight J., Lamb S. (2006) Selecting and using a manufacturing execution system', *Medical Device & Diagnostic Industry*, Saatavissa (viitattu 22.02.2019): <https://www.mddi-online.com/selecting-and-using-manufacturing-execution-system>

Kumar S., Dhingra A., Singh B. (2018) Lean-Kaizen implementation: A roadmap for identifying continuous improvement opportunities in Indian small and medium sized enterprise.

Lai K., Cheng, T. (2009) *Just-in-Time Logistics*. Gower Publishing, Englanti, pp. 190.

Lampinen M., Viitanen E., Konu A. (2013) Systemaattinen kirjallisuuskatsaus yhteisöllisyydestä työelämässä. *Sosiaalilääketieteellinen Aikakauslehti*, 50(1) 71–86.

Lapinleimu I., Kauppinen V., Torvinen S. (1997), *Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät*. WSOY –kirjapainoyksikkö. Porvoo, pp. 398.

Leanware Oy, Verkkosivu, Saatavissa (viitattu 25.02.2019): <https://leanware.fi/fi/leanware-remes-visuaalisin-ja-ohjaavin-valmistuksenohjausjarjestelma/>

Lippolt C.R., Furmans K. (2008) Sizing of Heijunka-controlled Production Systems with Unreliable Production Processes. In: Koch T. (eds) *Lean Business Systems and Beyond*. IFIP – The International Federation for Information Processing, Vol 257. Springer, Boston, MA.

Mabin V., Balderstone S. (2003) The performance of the theory of constraints methodology: Analysis and discussion of successful TOC applications, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 23, pp.??????

Majava J., Ojanperä T. (2017) Lean production development in SMEs: a case study.

Mamia T. (2007) Työelämän muutos ja tietoyhteiskunnan työpaikat: ryhmittelyanalyttinen näkökulma. Teoksessa T. Mamia & H. Melin (toim.), *Tietoyhteiskunta ja työorganisaatioiden muutos*. Sosiologian tutkimuksia. Turku: Turun yliopiston sosiologian laitos.

Meissner A., Müller M., Hermann A., Metternich J. (2018) Digitalization as a catalyst for lean production: A learning factory approach for digital shop floor management.

Michel R. (2018) MES meets the Warehouse, pp. 52–60.

Multanen S. (2016) Tuotannonohjauksen Kehittäminen Konepajassa, *Opinnäytetyö*, Satakunnan ammattikorkeakoulu, pp. 34.

- Netland T.H. (2016) Critical successfactors for implementing lean production: the effect of contingencies, *International Journal of Production Research*, Vol. 54(8), pp. 2433–2448.
- Pahkin K., Mattila-Holappa P., Nielsen K., Wiezer N., Widerszal-Bazyl M., De Jong T., Mockało Z. (2011) Mielekäs muutos – Kuinka tukea työntekijöiden hyvinvointia organisaatiomuutoksen aikana? Hyvinkää: Suomen Printman Oy.
- Preez D., Louw L. (2004) A Roadmap Approach For Implementing Theory of Constraints In Manufacturing Organisations, *International Conference on Competitive Manufacturing*.
- Qiao D., Geng J. (2013) Research on Production Process Control for Discrete Manufacturing Enterprise Based on Integration of MRPII/JIT/TOC, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 432, pp. 483–488.
- Raikkonen A. (2018) MES- ja APS-järjestelmän tarvekartoitus, vaatimusmäärittely ja vertailuanalyysi, *Diplomityö*, Tampereen Teknillinen Yliopisto, pp. 92.
- Saari S. (2006) Tuottavuus. Teoria ja mittaaminen liiketoiminnassa. 1. painos. Vantaa, Mido Oy. pp. 273.
- Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., Hompel M., Wahlster W. (2017) *Industrie 4.0 Maturity Index, Managing the Digital Transformation of Companies*.
- Slack N., Lewis M. (2017) *Operations strategy*, Published by Pearson Education Limited, fifth edition.
- Stadtler, H. (2005) 'Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges', *European Journal of Operational Research*. North-Holland, 163(3), pp. 575–588.
- Stehn L., Bergström M. (2002) Integrated design and production of multi-storey timber frame houses – production effects caused by customer-oriented design.
- Steiner R., Lammer G. (2017) Refractories 4.0, *Berg Huettenmaenn Monatsh*, Vol. 162, pp. 514–520.
- Stevenson M., Hendry L., Kingsman B. (2004) A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry, *International Journal of Production Research*, Volume 43, pp. 869–898.
- Suarez-Barraza M., Ramis-Pujol J. (2010) Implementation of Lean-Kaizen in the human resource service process”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 21 No. 3, pp. 388–410.
- Taggart G. L., Wilson A. P. (1998) *Promoting reflective thinking in teachers: 44 action strategies*. California: Corwin Press.
- Thürer M., Stevenson M., Land M. (2016) On the integration of input and output control: Workload Control order release, *International Journal of Production Economics*, Vol. 174, pp. 43–53.

Tuomi J., Sarajärvi A. (2018) Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi (Uudistettu laitos.). Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Vidoni, M. C. ja Vecchiotti, A. R. (2015) 'A systemic approach to define and characterize Advanced Planning Systems (APS)', Computers & Industrial Engineering, 90, pp.326–338.

Zhuang C., Liu J., Xiong H. (2018) Digital twin-based smart production management and control framework for complex product assembly shop-floor.

LIITE A: KYSELYLOMAKE HITSAAMO

Kyselylomake osavalmistus (hitsaus)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Hitsaus (työmääräin):

Hitsaus (ei työmääräintä):

Piirustusten tulkintaan:

Osien valmisteluun/käsittelyyn:

Osien etsimiseen:

Työvälineiden etsimiseen:

Laitteiston valmisteluun:

Laitteiston huoltamiseen:

Laatuvirheiden korjaamiseen:

Työkavereiden ohjeistamiseen/kouluttamiseen:

Hitsaustehtävät asennuspuolella:

Muuhun, mihin?

LIITE B: KYSELYLOMAKE KONEISTAMO

Kyselylomake osavalmistus (koneistus)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Koneistus (työmääräin):

Koneistus (ei työmääräintä):

Piirustusten tulkintaan/tarkistamiseen:

Osien valmisteluun/siirtämiseen:

Osien etsimiseen:

Työvälineiden etsimiseen:

Kappaleiden kiinnitys:

Asetusten tekeminen (ohjelmointi):

Laitteiston huoltamiseen:

Laatuvirheiden korjaamiseen:

Työkavereiden ohjeistamiseen/kouluttamiseen:

Konehäiriöihin:

Muuhun, mihin?

LIITE C: KYSELYLOMAKE POLTTO

Kyselylomake osavalmistus (poltto)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Polttoon (työmääräin):

Polttoon (ei työmääräintä):

Piirustusten tulkintaan/tarkistamiseen:

Materiaalin valmisteluun/siirtämiseen:

Materiaalin etsimiseen:

Työvälineiden etsimiseen:

Laitteiston valmisteluun/ohjelmointiin:

Laitteiston huoltamiseen:

Laatuvirheiden korjaamiseen:

Työkavereiden ohjeistamiseen/kouluttamiseen:

Konehäiriöihin:

Muuhun, mihin?

LIITE D: KYSELYLOMAKE SAHA

Kyselylomake osavalmistus (saha)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Sahaus (työmääräin):

Sahaus (ei työmääräintä):

Piirustusten tulkintaan/tarkistamiseen:

Materiaalin valmisteluun/siirtämiseen:

Materiaalin etsimiseen:

Työvälineiden etsimiseen:

Laitteiston valmisteluun:

Laitteiston huoltamiseen:

Laatuvirheiden korjaamiseen:

Työkavereiden ohjeistamiseen/kouluttamiseen:

Konehäiriöihin:

Muuhun, mihin?

LIITE E: KYSELYLOMAKE SÄRMÄYS/LEIKKAUS

Kyselylomake osavalmistus (särmäys/leikkaus)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Särmäys (työmääräin):

Särmäys (ei työmääräintä):

Leikkaus (työmääräin):

Leikkaus (ei työmääräintä):

Piirustusten tulkintaan/tarkistamiseen:

Osien valmisteluun/siirtämiseen:

Osien etsimiseen:

Työvälineiden etsimiseen:

Laitteiston valmisteluun:

Laitteiston huoltamiseen:

Laatuvirheiden korjaamiseen:

Työkavereiden ohjeistamiseen/kouluttamiseen:

Konehäiriöihin:

Muuhun, mihin?

LIITE F: KYSELYLOMAKE PORAUS

Kyselylomake osavalmistus (poraus)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Poraus (työmääräin):

Poraus (ei työmääräintä):

Piirustusten tulkintaan/tarkistamiseen:

Osien valmisteluun/siirtämiseen:

Osien etsimiseen:

Työvälineiden etsimiseen:

Laitteiston valmisteluun:

Laitteiston huoltamiseen:

Laatuvirheiden korjaamiseen:

Työkavereiden ohjeistamiseen/kouluttamiseen:

Konehäiriöihin:

Muuhun, mihin?

LIITE G: KYSELYLOMAKE PINTAKÄSITTELY

Kyselylomake osavalmistus (pintakäsittely)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Pintakäsittely/maalaus (työmääräin):

Pintakäsittely/maalaus (ei työmääräintä):

Piirustusten tulkintaan/tarkistamiseen:

Osien valmisteluun/siirtämiseen:

Osien etsimiseen:

Työvälineiden etsimiseen:

Laitteiston valmisteluun:

Laitteiston huoltamiseen:

Laatuvirheiden korjaamiseen:

Työkavereiden ohjeistamiseen/kouluttamiseen:

Konehäiriöihin:

Muuhun, mihin?

LIITE H: KYSELYLOMAKE HITSAUSROBOTTI

Kyselylomake osavalmistus (hitsausrobotti)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Hitsaamiseen (työmääräin):

Hitsaamiseen (ei työmääräintä):

Piirustusten tulkintaan/tarkistamiseen:

Osien valmisteluun/siirtämiseen:

Osien etsimiseen:

Työvälineiden etsimiseen:

Asetusten tekeminen (ohjelmointi):

Kappaleen käsittely:

Laitteiston huoltamiseen:

Laatuvirheiden korjaamiseen:

Työkavereiden ohjeistamiseen/kouluttamiseen:

Konehäiriöihin:

Muuhun, mihin?

LIITE I: KYSELYLOMAKE KERÄILY

Kyselylomake osavalmistus (keräily)

Laatija: Anssi Raja

Työntekijä:

Keskimäärin mihin työpäiväsi kuluu?

(Ruokataukoa ja kahvitaukoa ei tarvitse ottaa huomioon)

Tavaroiden keräily (keräilyalueelta):

Tavaroiden keräily/etsiminen (muualta kuin keräilyalueelta):

Piirustusten tulkintaan/tarkistamiseen:

Tavaroiden vastaanottamiseen:

Muuhun, mihin?

LIITE J: VERTAILUANALYYSI MES

Vaativuudet	Prioriteetti	Järjestelmä 1	Järjestelmä 1 pain.	Järjestelmä 2	Järjestelmä 2 pain.	Järjestelmä 3	Järjestelmä 3 pain.	Järjestelmä 4	Järjestelmä 4 pain.
Työnohjaus									
Käyttöliittymän selkeys	3	3	9	2	6	2	4	3	9
Työjonosta mahdollisuus valita seuraavaksi suoritettava työ koko työjonosta	3	3	9	3	9	2	6	3	9
Työmäärämittomman työn kirjaaminen	3	2	6	2	6	2	6	2	6
Työn aloituskelpoisuus näkyvissä	2	3	6	3	6	2	4	3	6
Tuotetiedot									
Nimikkeen päivitetty versiotieto									
Atonista	2	2	4	3	6	2	4	2	4
Nimikkeen jäljitettävyys	2	3	6	3	6	3	6	2	4
Tuotantoinformaation keruu									
Kommenttikenttä käyttöliittymällä tuotannossa työlle	3	2	6	2	6	2	6	2	6
Laatupoikkeaman syyn ja kommentin kirjaus	2	3	6	3	6	3	6	3	6
Työvaiheen suunniteltu aloitus- ja lopetusaika	1	2	2	2	2	3	3	2	2
Statustiedot (aloitus, keskeytys, lopetus)	3	3	9	3	9	3	9	3	9
Tehtyjen kappalemäärien kirjaus	3	2	6	3	9	3	9	2	6
Viivakoodin luku mahdollisuus	2	3	6	2	4	1	2	3	6
Työpisteen käyttöasteiden esittäminen	2	1	2	2	4	3	6	1	2
Kommunikointi									
Kommunikointi WMS-järjestelmän kanssa	2	3	6	2	4	1	2	2	4
Rajapinta toteutus muihin järjestelmiin	3	2	6	2	6	2	6	3	9
Tuotantotilauksen tuonti Poweredista MES-järjestelmään	3	3	9	3	9	3	9	3	9
Osto- ja varastohjautuvien osien materiaalin saatavuustiedot valmistusvaiheittain	1	3	3	3	3	2	2	2	2
Toimittaja									
Järjestelmä kustannukset	2	1	2	2	4	2	4	3	6
Jatkuvuus yhteistyönoimalta	2	3	6	3	6	2	4	3	6
Järjestelmätoimittajan vakavaraisuus	2	2	4	3	6	2	4	3	6
Yhteensä			113		117		102		117